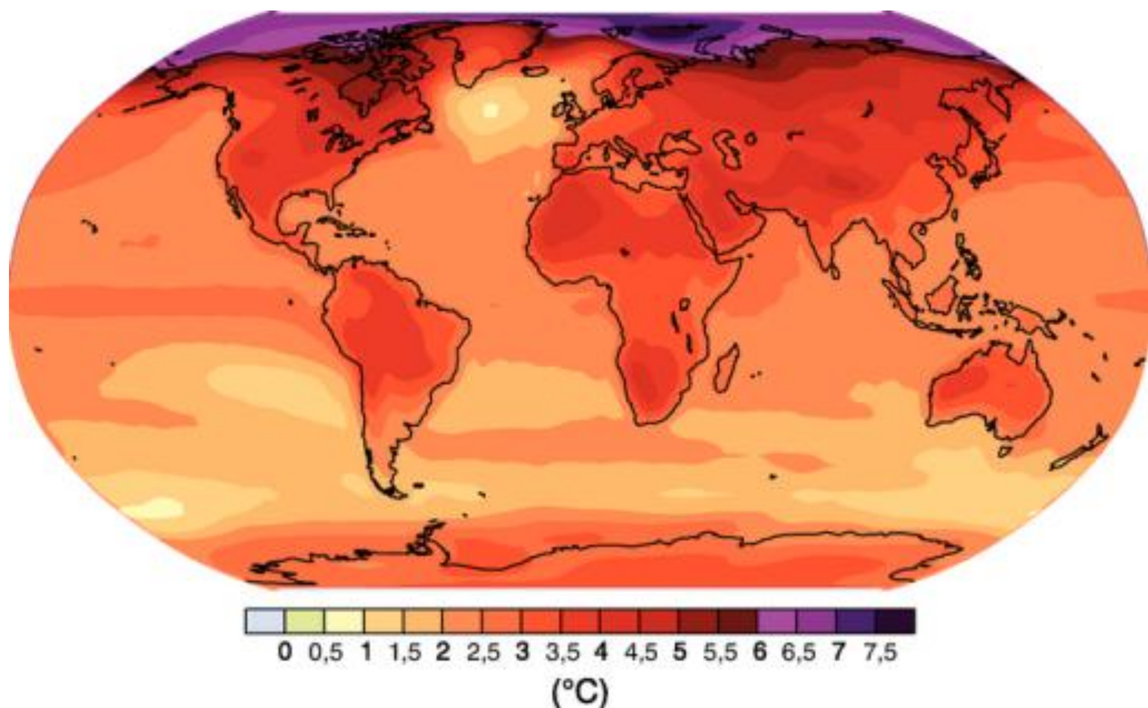
Le rôle des gaz à effet de serre dans le changement climatique

Configuration du réchauffement à la surface du globe, GIEC.



« *On parle parfois du changement climatique comme s'il ne concernait que la planète et non ceux qui l'habitent.* »

Ban Ki-moon

Cynthia De Menech

5H Italien-Espagnol

Professeur : Guglielmo Pasa

Lycée-Collège de l'Abbaye

1890 St-Maurice

Novembre 2013

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

Résumé

L'effet de serre, en particulier celui créé par les activités humaines, est un sujet qui se retrouve fréquemment dans les médias. Comment fonctionne ce phénomène ? Le soleil émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique, dont une partie est absorbée par l'atmosphère et la surface terrestre. La Terre, qui doit compenser ce rayonnement entrant, émet des rayons infrarouges. Ceux-ci sont absorbés par l'atmosphère qui les renvoie dans toutes les directions. Une partie retourne vers la surface terrestre, et c'est ce phénomène qu'on appelle l'*effet de serre*. Certains gaz, appelés les gaz à effet de serre, ont pour effet d'amplifier ce phénomène. Parmi ces gaz, figurent le gaz carbonique, le méthane, les chlorofluorocarbures, l'ozone et le protoxyde d'azote. À l'inverse, il existe aussi des particules, appelées les aérosols, qui ont un effet contraire à celui des gaz à effet de serre : elles contribuent au refroidissement de l'atmosphère en absorbant et diffusant en partie le rayonnement solaire vers l'espace. Toutefois, une question se pose : d'où proviennent ces gaz à effet de serre ? Une partie de l'effet de serre est naturelle : elle dépend essentiellement des nuages et de la vapeur d'eau, qui, confrontés à tout changement, peuvent influer sur la température globale de la Terre ; mais l'homme est aussi l'un des responsables des émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) : l'approvisionnement énergétique, l'agriculture et la déforestation sont des secteurs fortement émetteurs.

Depuis quelques années, le réchauffement climatique provoque de nombreux débats. Les scientifiques tentent non seulement de trouver le grand responsable de la hausse des températures – l'homme ou la nature – mais proposent aussi un grand nombre de solutions pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. En effet, que les gaz à effet de serre soient responsables du réchauffement ou pas, les conséquences des émissions restent très souvent néfastes. L'environnement sera touché, et la santé aussi. Quant aux conséquences des émissions de gaz à effet de serre sur le climat, il est difficile d'y répondre de façon exacte. Les climatologues essayent de trouver le lien entre la concentration de ces gaz dans l'atmosphère et la température, mais les avis restent partagés. De plus, il a été démontré que certains scientifiques, les « climatosceptiques », ont beaucoup d'avantages de nier la responsabilité de l'homme dans le réchauffement climatique : subvention par des lobbies, but financier selon les secteurs énergétiques, … En bref, il est très important de déceler les arguments purement scientifiques des autres.

Dans le but de prévoir le réchauffement futur, le GIEC a publié des scénarios d'émission, qui se basent sur différentes caractéristiques économiques, démographiques, sociologiques et techniques. Beaucoup de solutions sont envisagées dans le but de réduire les émissions anthropologiques de GES, et d'autres techniques ont pour but de freiner le réchauffement : la capture et le stockage du gaz carbonique, qui consiste à « enfermer » le CO_2 dans des gisements de pétrole, des veines de charbons inexploitées, ou encore à l'injecter dans les profondeurs des océans. Un autre type de solution est la géoingénierie, un projet qui semble complètement fou. En effet, cette méthode a pour but de manipuler le climat : quelques scientifiques proposent d'envoyer des millions de particules réfléchissant le rayonnement solaire, comme du souffre par exemple, dans la stratosphère. Cependant, les conséquences à court et à long terme de cette méthode sont encore inconnues, et beaucoup de climatologues sont persuadés qu'elle peut être dangereuse.

Table des matières

1. Introduction 1

2. Mécanisme de l'effet de serre 2

2.1 Mécanisme 2

2.2 Les principaux gaz à effet de serre 7

2.2.1 Le dioxyde de carbone 9

2.2.2 Le méthane 11

2.2.3 Autres gaz 12

2.3 Effet antagoniste : les aérosols 12

3. Origines 13

3.1 Origines humaines 13

3.1.1 Approvisionnement énergétique 14

3.1.2 Agriculture 14

3.1.3 Déforestation 15

3.2 Origines naturelles 16

4. Conséquences des changements climatiques futurs 16

4.1 Sur le climat 16

4.2 Sur l'environnement 18

4.3 Sur la santé 19

4.4 Critique 19

5. Émissions futures de gaz à effet de serre : scénarios et solutions 22

5.1 Scénarios d'émission 22

5.2 Capture de dioxyde de carbone 24

5.2.1 Piégeage et transport du CO_2 24

5.2.2 Stockage du CO_2 et impacts sur l'environnement 25

5.3 La géo-ingénierie.. 27
5.4 Critique... 28

6. Conclusion... 29

1. Introduction

Cela fait maintenant deux décennies que la question du changement climatique s'est imposée comme l'un des défis majeurs auxquels devra répondre l'humanité dans les années à venir. Le réchauffement ne représente désormais plus aucun doute. Toutefois, le climat a toujours été un phénomène fluctuant, évoluant notamment en fonction de sa propre dynamique interne, mais également en fonction de facteurs externes : les « forçages ». Parmi ces forçages figurent les variations du rayonnement solaire, les éruptions volcaniques ou encore les augmentations de la concentration de gaz atmosphériques à effet de serre. Les changements climatiques du passé étaient naturels, liés à ces forçages ; mais à ce jour, les scientifiques cherchent à déterminer la cause du réchauffement, et une question – d'apparence très simple mais il est pourtant très complexe d'y répondre, – se pose : *L'homme est-il responsable de l'actuel réchauffement de la planète ?*

En 1988, face au problème causé par le changement climatique, l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) ont créé un organe intergouvernemental[1] : le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Climat (GIEC), plus souvent cité sous son nom anglais « *Intergovernmental Panel on Climate Change* » (IPCC). Ce dernier déclare en 2007, dans son quatrième rapport d'évaluation du groupe de travail I, que :

> « *L'essentiel de l'élévation de la température moyenne du globe observée depuis le milieu du XX^e^ siècle est très probablement (terme défini par l'IPCC comme indiquant entre 90 et 99% de certitude) attribuable à la hausse des concentrations de gaz à effet de serre anthropiques* »[2].

Cette déclaration provoque controverses sur controverses. En effet, la hausse des émissions de gaz à effet de serre anthropiques est indiscutable, tout comme l'est la hausse des températures ; toutefois, l'homme est-il vraiment la cause du réchauffement global ? Ses émissions de gaz à effet de serre, en forte croissance depuis la révolution industrielle, ont-elles vraiment provoqué une telle variation de température ? Ou cette variation est-elle due à des facteurs uniquement naturels, comme le clame haut et fort le NIPCC : « *C'est la nature et non l'activité humaine qui détermine le climat* »[3] ? C'est ainsi que la question climatique provoque débats, polémiques, et conférences internationales. Des mesures restrictives sont prises afin que les principaux pays émetteurs de gaz à effet de serre réduisent ces émissions, mais cela va-t-il véritablement freiner le réchauffement ?

---

[1] http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml#1 Consulté le 28 août 2013, 18:25
[2] GIEC, *Changements climatiques 2007, Rapport de synthèse*, p.6
[3] NIPCC, *Nature, Not Human Activity, Rules the Climate,* p.1

2. Le mécanisme de l'effet de serre

2.1 Mécanisme

L'effet de serre est un phénomène indispensable à la vie[4] ; sans lui, en effet, la température de la Terre serait si basse qu'il serait impossible d'y vivre. De manière simple, l'effet de serre est un réchauffement, non seulement de la Terre, mais aussi des océans et de l'atmosphère. Ce réchauffement est dû à la capture d'une fraction de chaleur, provenant des rayons du soleil, par certains gaz. Selon quelques notions de physique sur le rayonnement électromagnétique, « *tout corps chaud émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique, dont l'intensité et la longueur d'onde dépendent de la température du corps émetteur.* »[5] De cette façon, le soleil, dont la température effective est de 5785 Kelvins[6], émet de l'énergie sous la forme d'ondes très courtes, majoritairement dans la partie visible ou presque visible du spectre : 50% d'infrarouges, 40% de lumière visible et 10% d'ultraviolets[7]. Ce rayonnement émis par le soleil, avant de traverser l'atmosphère, est de 1368 W/m^2. Chaque mètre carré de l'atmosphère reçoit donc 342 W, soit, 1368/4 W/m^2 (Le diviseur 4 vient du fait que l'aire d'un disque est donnée par πr^2 alors que celle d'une sphère vaut $4\pi r^2$). Toutefois, la Terre reçoit un rayonnement d'une grandeur de 240 W/m^2, soit environ 70% du rayonnement solaire[8]. La température de ce rayonnement est donnée par la loi de Stefan-Boltzmann :

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{eff}^4$$

Où *L est la puissance totale émise sous forme de rayonnement en [W]*

R est le rayon stellaire en [m]

σ est la constante de Stefan-Boltzmann : $5{,}67051 \cdot 10^{-8}$ [W/m^{2}K^4]

T est la température effective en [K]

« La puissance totale reçue par unité de surface perpendiculaire au rayonnement ([W/m^2]) »[9] est l'irradiance E donnée par $E = \frac{L}{4\pi d^2}$

Ainsi, $E = \frac{4\pi R^2 \sigma T^4}{4\pi R^2}$

$= \sigma T_{eff}^4$ *[J]*

Soit $T = \sqrt[4]{\frac{E}{\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{240\ [J]}{5{,}67051 \cdot 10^{-8}\ [\frac{J}{K4}]}}$ *= 255,063 [K]*

[4] GASSMANN, *Effet de serre, Modèles et réalités*, p.20
[5] LE TREUT/JANCOVICI, *L'effet de serre, Allons-nous changer le climat ?* p.14
[6] *Formulaires et tables*, p.194
[7] LE TREUT/JANCOVICI, *op. cit.* , p.23
[8] BARD, *La Recherche n°356, L'effet de serre*, p.50
[9] *Formulaires et tables*, p.191

On peut alors convertir les Kelvins en degrés Celsius : °C = K - 273,15 donc T = -18,09 °C

De cette façon, sans l'effet de serre, la température moyenne de la terre plongerait en-dessous du point de congélation de l'eau : à environ -18°C, soit à environ 33°C plus bas que la température moyenne réelle : 15°C[10]. En fait, sans l'intervention d'un autre phénomène physique, l'effet de serre pourrait faire augmenter la température moyenne jusqu'à 30°C. Ce phénomène est créé par des masses d'air proches du sol, qui, à un certain stade du réchauffement, « *forment des mouvements convectifs qui brassent l'atmosphère et refroidissent la surface* »[11].

Une partie du rayonnement de 342 W/m^2 que la Terre reçoit, environ 30%, est renvoyée dans l'espace par les nuages, le sol, les aérosols : c'est l'*albédo*. La plus grande fraction, environ 70% (240 W/m^2), est absorbée par l'atmosphère (20%) et par la surface terrestre (50%) qui, elle, émet un rayonnement infrarouge[12]. En effet, la Terre doit compenser ce rayonnement entrant, en renvoyant une quantité équivalente d'énergie vers l'espace. Comme la température de la Terre est beaucoup plus froide que celle du soleil, son rayonnement électromagnétique se propage en ondes beaucoup plus longues : dans la partie infrarouge du spectre[13]. La loi de Wien permet de calculer la relation entre la température moyenne de la Terre et la fréquence (ou longueur d'onde) de son rayonnement :

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

Où : λ_{max} *est la longueur d'onde en [m]*

b vaut $2{,}90 \cdot 10^{-3}$ *[m·K]*

T est la température en [K]

On a donc, pour <u>*le soleil*</u>*, dont T vaut 5785 K :* $\lambda_{max} = \frac{2{,}90 \cdot 10^{-3}\ m \cdot K}{5785\ K} = 5{,}02 \cdot 10^{-7}$ *[m]*

$= 0{,}502$ *[μm]*

Et pour <u>*la Terre*</u>*, dont T vaut 288 K :* $\lambda_{max} = \frac{2{,}90 \cdot 10^{-3}\ m \cdot K}{288\ K} = 1{,}0069 \cdot 10^{-5}$ *[m]*

$= 10{,}069$ *[μm]*

Voir figure 1.

Ainsi, le Soleil émet un rayonnement de courte longueur d'onde, qui réchauffe la surface terrestre, alors que la Terre émet des rayons infrarouges de grande longueur d'onde.

[10] GASSMANN, *Effet de serre, Modèles et réalités*, p.28
[11] LE TREUT/JANCOVICI, *L'effet de serre, Allons-nous changer le climat ?,* p.27
[12] BARD, *La Recherche n°356, L'effet de serre*, p.50
[13] LE TREUT/JANCOVICI, *op. cit. ,* p.15

L'atmosphère absorbe ces infrarouges et les renvoie dans toutes les directions. Une partie retourne vers la surface terrestre, ce qui amplifie le réchauffement ; et c'est ce phénomène que l'on appelle *l'effet de serre*.

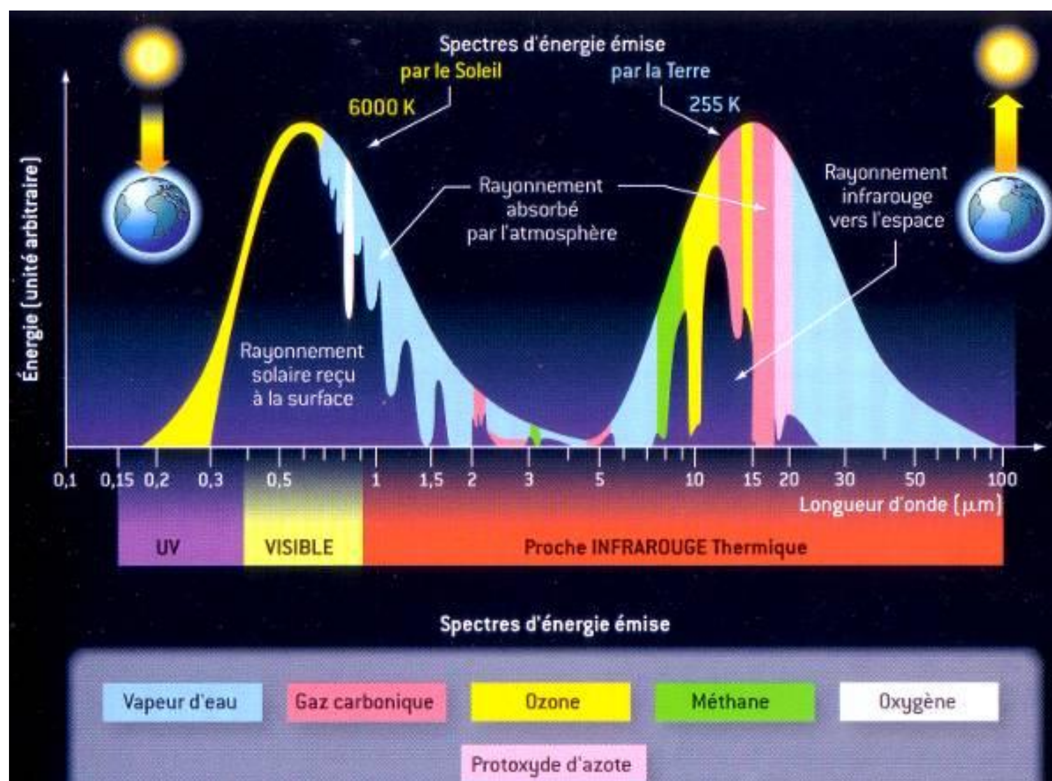


Figure 1 : Spectre d'énergie émise par le Soleil et la Terre[14]

Ce phénomène a donc été nommé *effet de serre*, car, de la même façon que l'atmosphère capture les rayons infrarouges, les parois de verre des serres de jardins laissent elles aussi entrer le flux solaire et enferment une partie des rayons infrarouges émis par certains objets. Toutefois, la chaleur qui règne dans les serres est aussi due aux parois de verres qui empêchent la circulation de l'air.[15]

L'effet de serre terrestre peut être comparé à celui d'autres planètes. Par exemple, la planète Vénus possède une atmosphère très dense et bien plus épaisse que celle de la Terre. Vénus, plus proche du Soleil que ne l'est la Terre, reçoit un flux énergétique près de deux fois plus grand que celui que nous recevons. Cependant, l'atmosphère de Vénus, très dense et nuageuse, en réfléchit une très grande partie, près de 80%,

> « […] *laissant imaginer une température au sol très basse. Et pourtant, les sondes spatiales y ont relevé quelques 460 °C. C'est qu'une atmosphère composée pour l'essentiel de gaz carbonique rend l'effet de serre particulièrement intense et empêche le peu d'énergie parvenu à la surface de Vénus de s'échapper.* »[16]

---

[14] http://notech.franceserv.com/atmosphere-generalites.html Consulté le 22 mars 2013

[15] DENHEZ, *Atlas de la menace climatique, Le réchauffement de l'atmosphère : enjeu numéro un de notre siècle*, p.28

[16] BARD, *L'homme et le climat, Une liaison dangereuse*, p.33

En effet, tout le CO_2 émis par les volcans reste enfermé dans l'atmosphère, alors que sur la Terre, les océans absorbent le CO_2 et réduisent ainsi l'effet de serre. Ainsi, sur Vénus, l'effet de serre est extrêmement important : la température à la surface de la planète s'élève à plus de 450°C. Si Vénus n'avait pas d'atmosphère, et donc pas d'effet de serre, sa température serait donnée par :

$T = \sqrt[4]{\frac{E}{\sigma}}$ où T est la température effective en [K]

σ est la constante de Stefan-Boltzmann : $5{,}67051 \cdot 10^{-8}$ [W/m^2K^4]

E est l'irradiance (puissance d'un rayonnement par unité de surface) solaire en [W/m^2] : $\frac{2613{,}9}{4}$ = 653,475 [W/m^2][17]

Ainsi : T = 327,64 [K] = 54,5 [°C]. La température moyenne de Vénus s'élève pourtant à 735 K, soit 462 °C, ce qui montre à quel point l'atmosphère de cette planète est dense.

Sur la planète Mars, l'effet de serre est beaucoup plus modeste. En effet, son atmosphère est peu dense et contient aussi moins de vapeur d'eau que l'atmosphère terrestre. L'atmosphère n'est donc réchauffée que d'une quinzaine de degrés :

$T = \sqrt[4]{\frac{E}{\sigma}}$ où T est la température effective en [K]

σ est la constante de Stefan-Boltzmann : $5{,}67051 \cdot 10^{-8}$ [W/m^2K^4]

E est l'irradiance (puissance d'un rayonnement par unité de surface) solaire en [W/m^2] : $\frac{589{,}2}{4}$ = 147,3 [W/m^2][18]

Ainsi, T = 225,7 [K] = - 47,3 [°C].La température moyenne de Mars est de 210 [K], soit de – 63 [°C]. On constate donc que l'effet de serre y est peu important.

La Lune est souvent considérée comme dépourvue d'atmosphère : en effet, celle-ci est insignifiante par rapport à celle de la Terre. Par la loi de Stefan-Boltzmann et avec une irradiance solaire E = 342 [W/m^2], on trouve une température T = 278,677 [K], ce qui est égal à la température moyenne de la Lune. Ainsi, la Lune étant dépourvue d'atmosphère, n'a pas d'effet de serre.

Les activités humaines, en particulier le déboisement des forêts et l'utilisation de combustibles fossiles, ont contribué à intensifier l'effet de serre naturel, provoquant ainsi le réchauffement planétaire.

[17] http://fr.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9nus_(plan%C3%A8te) Consulté le 2 mai 2013
[18] http://fr.wikipedia.org/wiki/Mars_(plan%C3%A8te) Consulté le 12 juin 2013

L'importance de l'augmentation de la température dépend de certains mécanismes de rétroaction, comme, par exemple,

> « *à mesure que l'atmosphère se réchauffe du fait de l'augmentation de sa teneur en gaz à effet de serre, sa concentration en vapeur d'eau augmente, intensifiant encore plus l'effet de serre, ce qui entraine encore plus de réchauffement, qui a son tour dégage encore plus de vapeur d'eau, et ainsi de suite, en un cycle qui se renforce lui-même.* ». [19]

Les nuages constituent aussi un élément important de ces mécanismes de rétroaction. Ils peuvent avoir à la fois un rôle de réchauffement : ils absorbent les rayons infrarouges, ce qui créé un effet de serre important ; et un rôle de refroidissement : ils réfléchissent les rayons solaires et les empêchent d'atteindre la surface terrestre. Ce phénomène est l'albédo, qui exprime la proportion du rayonnement réfléchi par un objet. Par exemple, un miroir parfait a un albédo de 100%, alors qu'un corps noir parfait a un albédo nul[20]. De manière générale, les objets noirs ont une valeur albédo faible et absorbent donc une grande partie des rayons du soleil, alors que les objets blancs ont un albédo élevé. Ils réfléchissent donc les rayons du soleil et ainsi se réchauffent moins rapidement. De cette façon, les nuages réfléchissent 20 des 30% du rayonnement qui est renvoyé vers l'espace.[21] Cette réflexion peut fortement varier, car elle dépend de la forme, de l'épaisseur, et du contenu en eau et en glace des nuages.

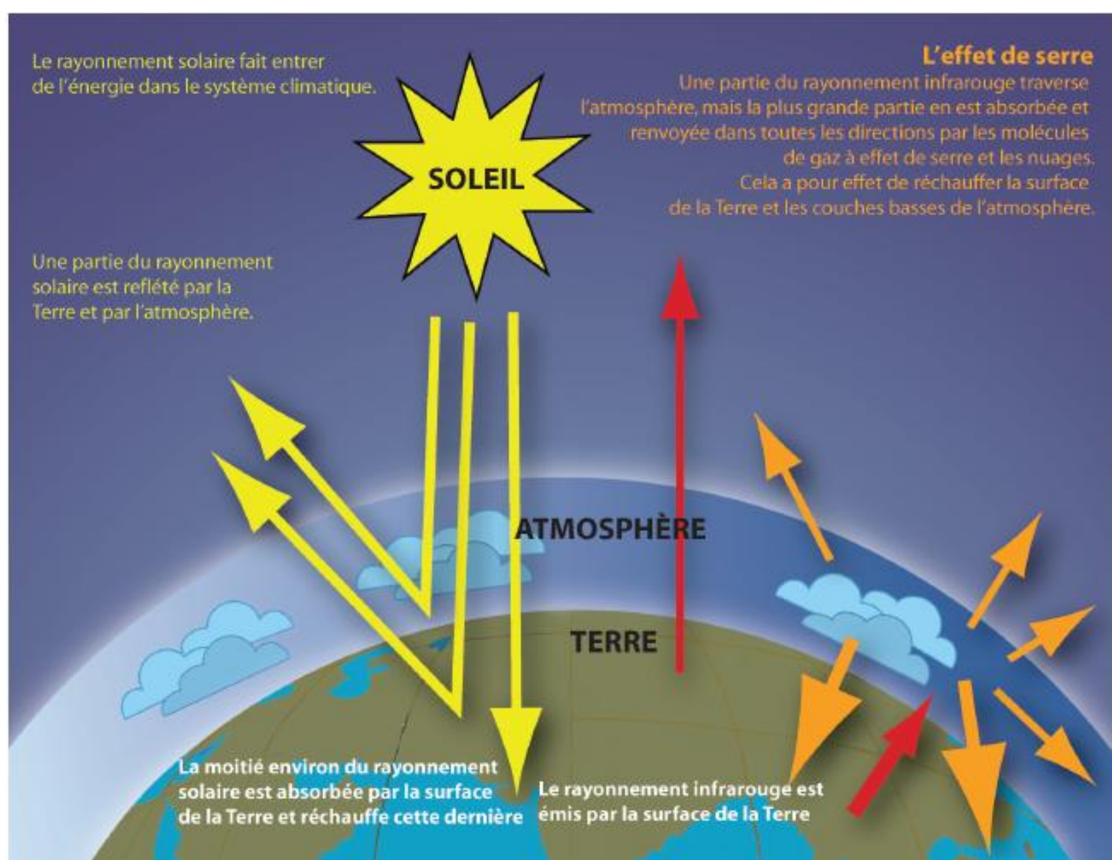


Figure 2 : Représentation simplifiée de l'effet de serre[22]

[19] GIEC, *Questions fréquentes, Qu'est-ce que l'effet de serre*, p.7
[20] LE TREUT/JANCOVICI, *L'effet de serre, Allons-nous changer le climat*, p.211
[21] LE TREUT/JANCOVICI, *op.cit.* , p.24
[22] GIEC, *Questions fréquentes, Qu'est-ce que l'effet de serre*, p.7

2.2 Les principaux gaz

L'atmosphère est composée essentiellement de 78% d'azote et de 21% d'oxygène. L'effet de serre, dont le rôle est très important puisqu'il permet la vie sur terre, est dû à des gaz dont la présence dans l'atmosphère est minime : ces gaz constituent moins d'1% du volume de l'atmosphère[23]. L'atmosphère n'est pas un « réservoir inerte »[24], c'est-à-dire, que les gaz qui y entrent peuvent notamment être détruits par réaction chimique, ou être soumis à des échanges avec la surface terrestre, ce qui modifie leur durée de vie dans l'atmosphère et leur concentration dans l'air. Les gaz à effet de serre sont des gaz qui sont peu toxiques : ils sont peu réactifs sur le plan chimique. Ainsi, leur durée de vie dans l'atmosphère est très longue et ils ont la capacité d'absorber le rayonnement solaire, et surtout terrestre. De cette façon, l'état de l'atmosphère dépend d'éléments minoritaires mais très importants, et c'est ainsi que les effets des activités humaines influencent le climat. Les cinq principaux gaz à effet de serre d'origine anthropique sont, par ordre d'importance[25] :

- Le gaz carbonique (CO_2)
- Le méthane (CH_4)
- Les chlorofluorocarbures (CFC)
- L'ozone troposphérique
- Le protoxyde d'azote (N_2O)

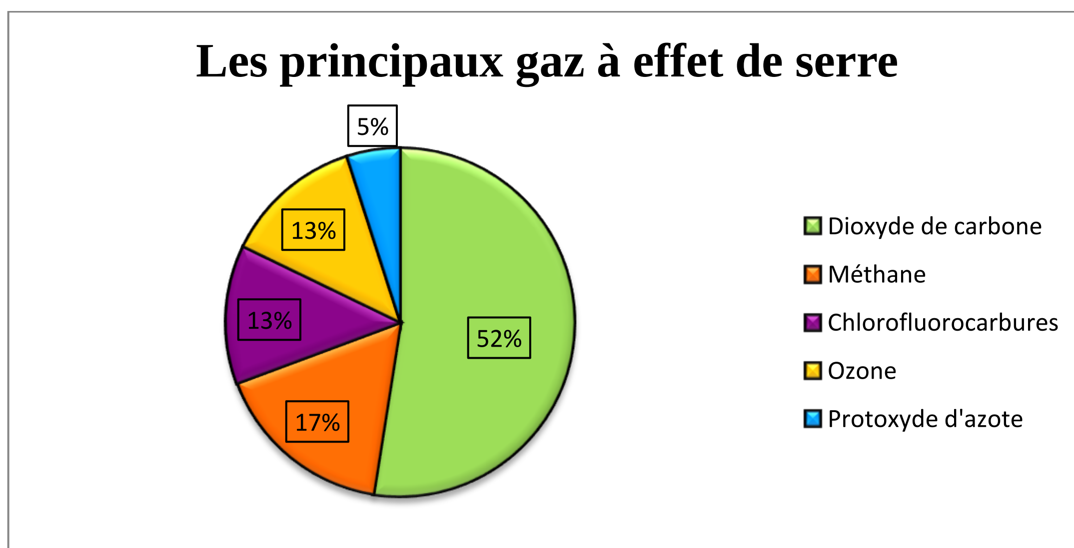


Figure 3 : Les principaux gaz à effet de serre[26]

La vapeur d'eau et les nuages sont responsables d'environ deux tiers de l'effet de serre, le gaz carbonique d'un tiers. Toutefois les émissions de vapeur d'eau sont négligeables par rapport aux procédés naturels d'évaporation. En effet, en moins de deux semaines, la vapeur d'eau est recyclée sous forme de pluie ou de neige. Sa durée de vie dans l'atmosphère est ainsi très courte. De plus, la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère ne dépend que très peu des activités humaines : l'homme agit de manière indirecte sur la quantité de vapeur

---

[23] LE TREUT/JANCOVICI, *L'effet de serre, Allons-nous changer le climat ?,* p.16
[24] LE TREUT/JANCOVICI, *op.cit.* , p.61
[25] GASSMANN, *Effet de serre, Modèles et réalités*, p.34
[26] DENHEZ, *Atlas de la menace climatique, Le réchauffement de l'atmosphère : enjeu numéro un de notre siècle*, p.28

d'eau, car en émettant des gaz à effet de serre, l'atmosphère se réchauffe, et une atmosphère plus chaude contient plus de vapeur d'eau.

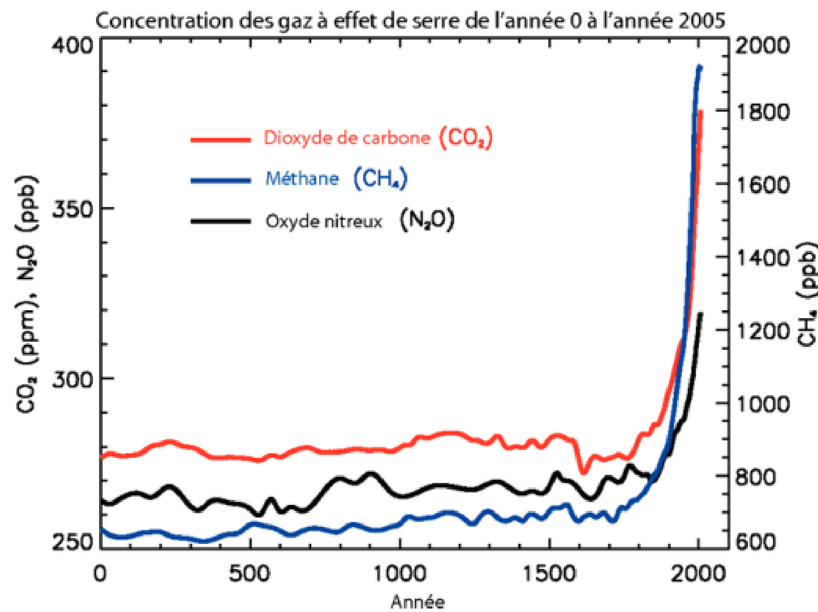


Figure 4 : « Concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre de longue durée, depuis 2000 ans. Leur augmentation depuis l'ère industrielle (vers 1750) est d'origine humaine. Les unités de concentration sont exprimées en parts par million (ppm) ou en parts par milliard (ppb). Elles indiquent le nombre de molécules de gaz à effet de serre dans un échantillon atmosphérique donné par million ou milliard de molécules d'air, respectivement. »[27]

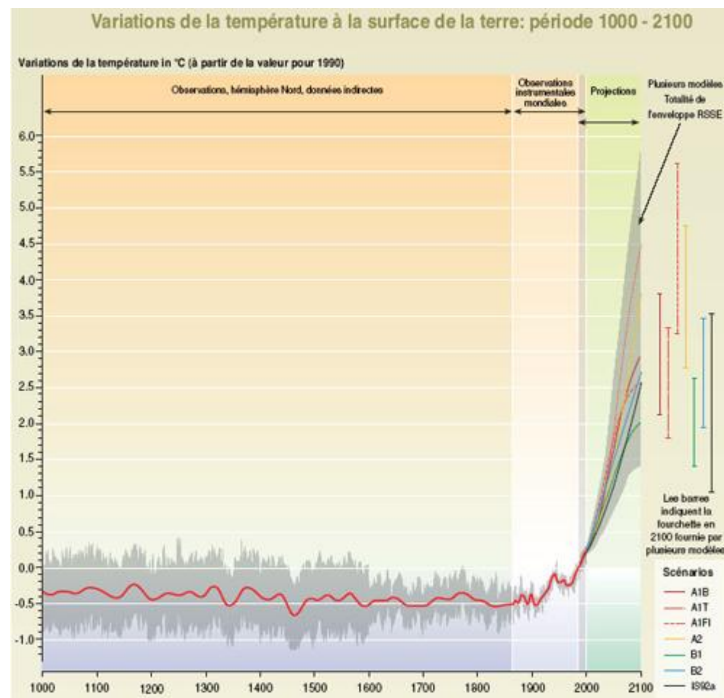


Figure 5 : Variations de la température à la surface de la Terre de 1000-2100. De 1000 à 1860, les données sont indirectes, car obtenues notamment par des carottes glaciaires et des données historiques. De 1860 à 2000, les variations de températures sont obtenues par relevé instrumental. De 2000 à 2100, ce sont des scénarios d'émissions (voir p.23 fig. 13)[28]

---

[27] GIEC, *Questions fréquentes, Quelle est la part des activités humaines dans les changements climatiques par rapport aux facteurs naturels ?,* p.106

[28] http://climatic.inforef.be/conf_lorrain.htm Consulté le 28 août, à 17:12

Ces deux graphiques, l'un représentant les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre, l'autre les variations de la température peuvent être comparés.

2.2.1 Le dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone (CO_2) est le gaz à effet de serre anthropique le plus important. Au XVIII^{e} siècle apparaît le début de l'industrialisation : après les années 1950, il y a une importante augmentation de la concentration de ce gaz dans l'atmosphère, ce qui correspond à une augmentation simultanée de l'utilisation du charbon et du pétrole comme combustibles (voir figure 4).

> « *Le cycle naturel du carbone ne peut expliquer que la concentration observée du CO_2 atmosphérique durant les 25 dernières années ait augmenté de 3,2 à 4,1 GtC an^{-1} (Une GtC ou gigatonne de carbone vaut 10^{15} grammes de carbone, soit un milliard de tonnes)*»[29].

En effet, sa concentration dans l'atmosphère s'est accrue notamment à cause de l'utilisation de combustibles fossiles par les transports, le chauffage, et la climatisation des bâtiments. La durée de vie de ce gaz dans l'atmosphère est de 120 ans[30].

Une part des émissions de carbone, environ 27%[31], sont recueillies par les océans. En effet, l'eau de mer possède la capacité de dissoudre le CO_2 présent dans l'atmosphère. L'océan est donc un puits de carbone. Il absorbe environ 2 milliards de tonnes de carbone par année[32]. Cette capacité d'absorption dépend de plusieurs facteurs ; tout d'abord, elle diminue de manière importante lorsque la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère augmente. De cette façon, plus l'humanité émet de gaz carbonique, moins celui-ci est absorbé, et, par conséquent, sa quantité dans l'atmosphère augmente de plus en plus. D'autres facteurs entrent également en jeu : la température de l'eau de mer, sa salinité, son alcalinité, …

L'absorption du carbone par les océans résulte de trois processus : tout d'abord, la dissolution chimique du CO_2 dans la couche de surface océanique, puis la pompe physique, et enfin la pompe biologique.[33]

<u>La dissolution chimique du CO_2 dans la couche de surface océanique</u> : Le GIEC définit l'acidification des océans comme une « *diminution du pH de l'eau de mer due à l'absorption de dioxyde de carbone anthropique* »[34]. En effet, lorsque le CO_2 est dissous dans l'eau de mer, il réagit avec l'eau pour former un acide carbonique :



$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$

L'acide carbonique se dissocie ensuite en ions de bicarbonate (HCO_3^-) et d'hydrogène (H^+). Le dégagement d'ions d'hydrogène est responsable de l'acidification des océans : il réduit le pH, et donc augmente l'acidité, de l'eau de mer.

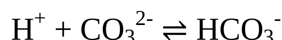


$$H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$$

---

[29] GIEC, *Questions fréquentes, Quelle est la part des activités humaines dans les changements climatiques par rapport aux facteurs naturels ?,* p.125
[30] DUCROUX/JEAN-BAPTISTE, *L'effet de serre, Réalité, conséquences et solutions*, p.20
[31] *ibid.* p.23
[32] *ibid.* p.22
[33] BOPP/LEGENDRE/MONFRAY, *La Recherche n°355, La pompe à carbone va-t-elle se gripper ?*, p.48
[34] GIEC, *Changements climatiques 2007, Rapport de synthèse*, p.76

Les ions d'hydrogène (H^+) vont ensuite réagir avec les ions de carbonate (CO_3^{2-}) pour former des ions de bicarbonate.



$$H^+ + CO_3^{2-} \rightleftharpoons HCO_3^-$$

<u>La pompe physique</u> est un phénomène qui permet le mélange des eaux de surface et des eaux intermédiaires et profondes. « *Lorsque les eaux tropicales superficielles chaudes sont entraînées vers les hautes latitudes, elles se refroidissent et s'enrichissent en CO_2, la solubilité du gaz carbonique augmentant quand la température s'abaisse. Une fois les latitudes polaires atteintes, ces eaux refroidies, plus denses, plongent vers les profondeurs et entraînent avec elles d'énormes quantités de carbone* ».

La troisième étape, *la pompe biologique* permet à l'océan d'absorber le carbone. Durant la période de floraison du plancton végétal, d'énormes volumes de phytoplancton se développent. Ils utilisent par photosynthèse les atomes de carbone pour produire leur matière organique et coulent ensuite vers les eaux profondes sous forme de déchets.

<u>Estimation des émissions de CO_2 par véhicule par an dans le monde</u> :

En moyenne, si une voiture roule 20'000 km par an. Admettons que l'essence soit de l'octane pur. On a :

- <u>L'octane</u> : C_8H_{18}. La masse atomique du carbone est de 12 grammes, et celle de l'hydrogène est de 1 gramme. La masse molaire de l'octane est donc de : 12·8 + 18 = 114 gr/mol.

- <u>Le gaz carbonique</u> : CO_2. La masse atomique de l'oxygène est de 16 grammes, et ainsi la masse molaire du CO_2 est : 12 + 16·2 = 44 gr/mol.

La consommation d'essence d'une voiture est en moyenne de 10 litres en 100 km, ce qui correspond à 2'000 litres pour 20'000 km et donc par an.

La masse volumique de l'octane est de 0,7 gr/cm^3, soit de 0,7 kg/l. Ainsi, dans 2'000 litres d'octane, il y a 1'400 kg d'octane.

En mol, cela correspond à : masse molaire de l'octane = 114 gr/mol ↔ 0,114 kg/mol. Une voiture consomme donc $\frac{1400}{0{,}114}$ mol/an, soit 12'280,7 mol/an.

D'après l'équation de la combustion de l'octane, à 1 mol de C_8H_{18} correspondent 8 mol de CO_2 : $C_8H_{18} + 12{,}5O_2 \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O$.[35] On a donc :

$$\frac{1400}{0{,}114} \text{ mol/an de } C_8H_{18} \leftrightarrow \frac{1400 \cdot 8}{0{,}114} \text{ mol/an de } CO_2 = 98'245{,}6 \text{ mol/an.}$$

La masse molaire du CO_2 étant de 44 gr/mol, soit 0,044 kg/mol, on a :

98'245,6 · 0.044 = 4'322,8 kg de CO_2 par an, <u>soit 4,32 tonnes de CO_2/an</u> sont émises par une voiture.

En conclusion, s'il y a environ 1 milliard de véhicules en circulation sur terre[36], le total des

[35] http://fr.wikipedia.org/wiki/Octane Consulté le 1er avril 2013.

émissions de CO_2 est de : 4,32 · 10^9 t/an, soit <u>4,32 Gt/an.</u>[37]

Dans son rapport de synthèse des changements climatiques de 2007, le GIEC montrait un total d'environ 38 Gt d'émissions anthropiques de CO_2 par an.

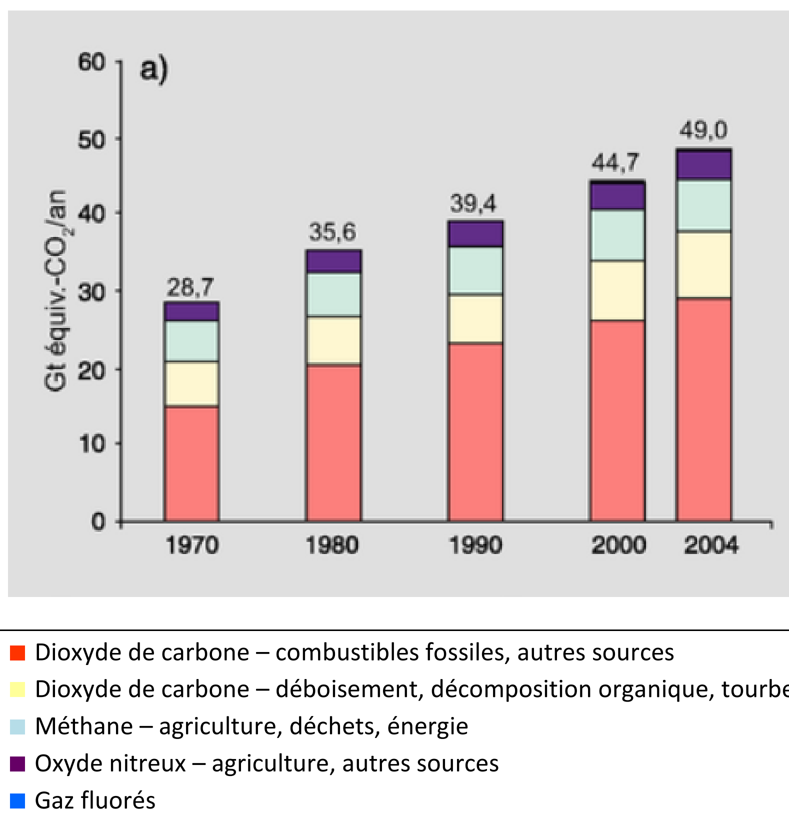


Figure 6 : Emissions annuelles de gaz à effet de serre anthropiques dans le monde de 1970 à 2004.[38]

2.2.2 Le méthane

Le méthane est le deuxième gaz à effet de serre d'origine anthropique. Il est émis par la fermentation anaérobie dans les zones humides, l'extraction du charbon, l'industrie gazière et pétrolière, mais aussi par l'appareil digestif des ruminants, et les décharges à ciel ouvert lors de la décomposition de la matière organique[39]. De grandes quantités de ce gaz sont contenues dans le permafrost des régions proches du pôle, ce qui représente un danger particulier, car si le sol se réchauffe, ce gaz peut se libérer.

Le méthane est éliminé de l'atmosphère principalement par le « *radical hydroxyle OH* »[40]. De cette décomposition résultent du CO_2 et de l'H_2O. De cette façon, il faut prendre en compte les effets directs du méthane sur le climat, mais également ses effets indirects. Cette réaction est responsable de la disparition de 500 millions de tonnes par an. La durée de vie moyenne de ce gaz est de 8 à 13 ans[41], ce qui reste très inférieur à celle du gaz carbonique.

---

[36] http://wardsauto.com/ar/world_vehicle_population_110815 Consulté le 1er avril 2013.
[37] 1 gigatonne (Gt) = 10^9 tonnes = 10^{12} kg
[38] GIEC, *Changements climatiques 2007, Rapport de synthèse*, p.36
[39] LE TREUT/JANCOVICI, *L'effet de serre, Allons-nous changer le climat*, p.66
[40] GASSMANN, *Effet de serre, Modèles et réalités*, p.38
[41] DUCROUX/JEAN-BAPTISTE, *L'effet de serre, Réalité, conséquences et solutions*, p.20

2.2.3 Autres gaz

Les chlorofluorocarbures sont « *un groupe de substances de synthèse absolument inertes dans la troposphère, c'est-à-dire ne pouvant ni être transformées chimiquement ni lavées par la pluie, et tout à fait inoffensives pour les hommes, les animaux et les végétaux* »[42] Les CFC proviennent notamment des gaz propulseurs (spray), des installations de réfrigérateurs, et des agents moussants pour les matières plastiques poreuses. Ces réfrigérateurs sont par la suite mis à la ferraille sans souci de récupération du gaz, les matières plastiques sont brûlées dans des installations dont les contrôles sont insuffisants, et c'est à ce moment-là que les CFC sont rejetés dans l'atmosphère. Sous l'effet des rayons ultraviolets, les chlorofluorocarbures se décomposent et libèrent du chlore susceptible de détruire l'ozone atmosphérique[43]. Les CFC sont responsables d'environ 12% de l'effet de serre. La quantité de chlorofluorocarbures dans l'atmosphère est cependant en train de décroître grâce aux décisions internationales visant à protéger la couche d'ozone.

L'ozone O_3 est « *un gaz à effet de serre qui est produit et détruit en permanence dans l'atmosphère par des réactions chimiques* »[44]. L'ozone est présent dans la stratosphère (la partie de l'atmosphère entre 15 et 50 kilomètres d'altitude), car il est « *le produit de la décomposition photochimique de l'oxygène sous l'effet du rayonnement ultraviolet* »[45] (Une réaction photochimique est une réaction chimique qui nécessite du rayonnement électromagnétique pour se produire). Ainsi, l'ozone est constamment renouvelé par cet équilibre photochimique, qui, cependant est perturbé par les CFC. Les chlorofluorocarbures sont en effet capables de se dissocier dans la stratosphère, c'est-à-dire qu'ils libèrent des « radicaux libres chlorés » qui attaquent la couche d'ozone. Ce phénomène explique donc le trou d'ozone, donc la diminution d'ozone stratosphérique au-dessus de l'Antarctique.

Le protoxyde d'azote, ou oxyde nitreux, N_2O, est un autre gaz à effet de serre provenant des excès d'épandages d'engrais et de la combustion de combustibles fossiles. (cf. 3.1.2) Il est aussi émis naturellement par les sols et les océans.

2.3 Effet antagoniste : les aérosols

Il existe des gaz dits « à effet de serre », dont le dioxyde de carbone, le méthane, les chlorofluorocarbures, l'ozone, et le protoxyde d'azote ; mais, paradoxalement, certaines particules en suspension dans l'air ont un effet antagoniste à celui des gaz à effet de serre : les aérosols. Ces derniers contribuent en effet au refroidissement de l'atmosphère grâce à leur pouvoir réfléchissant. Il faut distinguer deux sortes d'aérosols ; tout d'abord, les aérosols primaires, qui sont émis dans l'atmosphère, sous forme solide ou liquide.

> « *Ce sont par exemple les embruns projetés par la friction du vent sur l'océan, les poussières arrachées aux déserts par le vent, les cendres volcaniques, la fumée des feux de végétation, les poussières industrielles, ou encore les aérosols carbonés issus de la combustion des énergies fossiles*. »[46]

[42] GASSMANN, *Effet de serre, Modèles et réalités*, p.39
[43] CRUTZEN, *La recherche n°399, Paul Crutzen : « Et si l'on manipulait le climat ? »*, p.82
[44] GIEC, *Questions fréquentes, Quelle est la part des activités humaines dans les changements climatiques par rapport aux facteurs naturels ?*, p.106
[45] LE TREUT/JANCOVICI, *L'effet de serre, Allons-nous changer le climat ?*, p.66
[46] BOUCHER, *La Recherche n°414, Le double jeu des aérosols*, p.40

La deuxième catégorie, les aérosols secondaires, sont émis dans l'atmosphère par la condensation des gaz. « *Ils sont issus de l'oxydation du dioxyde de soufre produit à la fois par la combustion du charbon et des dérivés du pétrole, et de celle du diméthylsulfure généré par le phytoplancton marin.* »[47]

Au total, les aérosols naturels et anthropiques émis dans l'atmosphère chaque année atteignent plusieurs milliards de tonnes. Leur durée de vie dans l'atmosphère est cependant beaucoup plus courte que celle des gaz à effet de serre : quelques jours dans la troposphère, ou environ une année dans la stratosphère. Ils ne s'accumulent donc pas dans l'atmosphère.[48]

Ces particules atmosphériques ont donc pour conséquence de refroidir l'atmosphère. Elles diffusent et absorbent le rayonnement solaire, et une partie de ce rayonnement diffus est renvoyé vers l'espace : de cette façon, l'atmosphère se refroidit. C'est ce qu'on appelle « l'effet direct » des aérosols. Un effet indirect des aérosols consiste notamment à servir de noyaux de condensation aux gouttelettes d'eau. Le nuage sera de plus en plus réfléchissant, selon la concentration de ces aérosols qui fait augmenter le nombre de gouttelettes. A nouveau, grâce à ce phénomène, l'atmosphère subit un refroidissement. Ces deux phénomènes refroidissants ont ainsi contribué à ralentir l'accroissement de la température de ces dernières années, mais « *leur effet à long terme ne compensera pas celui des gaz à effet de serre* »[49].

3. Origines

3.1 Origines humaines

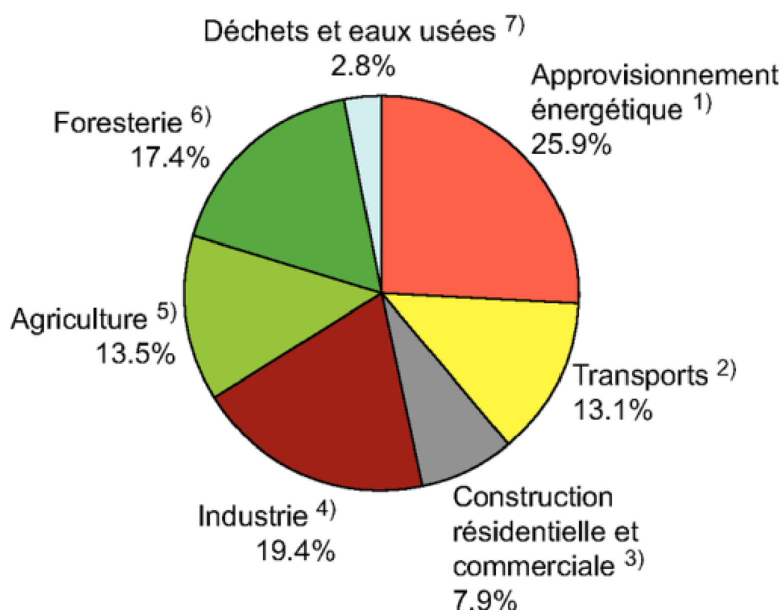


Figure 7 : Contribution des différents secteurs aux émissions totales de GES anthropiques en 2004, en équivalent-CO_2. (La foresterie inclut le déboisement).[50]

---

[47] BOUCHER, *La Recherche n°414, Le double jeu des aérosols*, p.40
[48] LE TREUT/JANCOVICI, *L'effet de serre, Allons-nous changer le climat ?*, p.73
[49] *ibid.* p.72
[50] GIEC, *Changements climatiques 2007, Rapport de synthèse*, p.36

3.1.1 Approvisionnement énergétique

Selon des estimations, « *les énergies fossiles (gaz, pétrole et charbon) assuraient en 2011 environ 81% de l'approvisionnement énergétique de la planète* »[51]. L'industrie pétrolière et gazière est responsable de deux types d'émissions : tout d'abord, les émissions causées par l'utilisation de produits pétroliers en tant que carburants ou combustibles, puis les émissions causées par les installations de production et de raffinage.

De plus, la croissance de la démographie mondiale implique une hausse de la demande en approvisionnement énergétique.

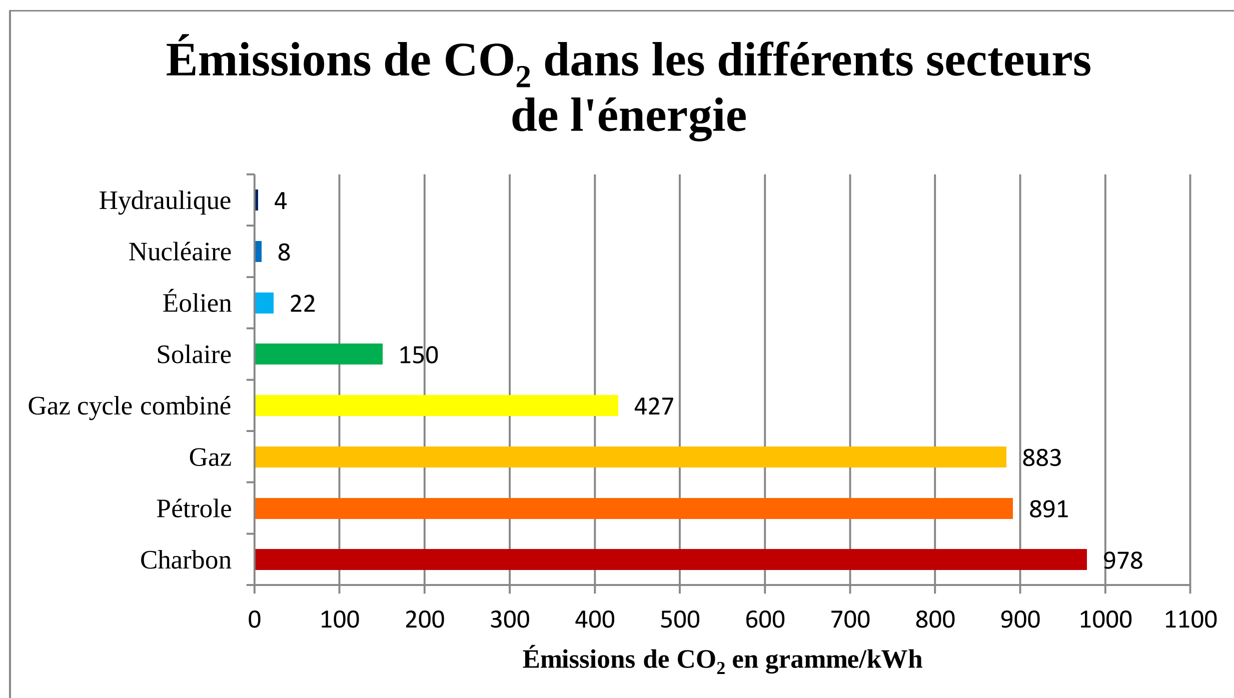


Figure 8 : émissions de CO_2.[52] (Source : Observatoire de l'énergie)

Les énergies fossiles sont extrêmement polluantes en CO_2, contrairement aux énergies renouvelables et nucléaires, qui elles, fonctionnent en émettant une quantité minime de CO_2.

3.1.2 Agriculture

L'agriculture est à l'origine de 13,5 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. En effet, les activités agricoles contribuent à émettre 3 principaux gaz à effet de serre : l'élevage et les sols sont responsables des rejets de méthane, la fertilisation azotée émet du protoxyde d'azote, et quant au gaz carbonique, il est dû à la consommation d'énergie.

Les émissions de méthane qui sont d'origine agricole proviennent majoritairement des animaux d'élevage. Ces derniers sont appelés « ruminants », car ils sont capable de rumination ; c'est-à-dire qu'ils peuvent régurgiter leur nourriture pour la remastiquer. Les aliments sont ensuite fermentés dans le rumen (fermentation entérique), et cette digestion

[51] http://www.total.com/fr/nos-enjeux/respecter-l-environnement/contribuer-a-la-lutte-contre-le-changement-climatique/energie-climat-200671.html Consulté le 16 mars 2013.

[52] DUCROUX/JEAN-BAPTISTE, *L'effet de serre, Réalité, conséquences et solutions*, p.38

particulière leur fait éructer du méthane. Ils émettent environ 62,3 kg de CH_4 par animal et par an[53], toutefois il existe des variations importantes selon, la race, l'âge, l'activité physique, le niveau de production animale, la composition et la digestibilité des aliments. Les émissions de méthane dépendent aussi du mode de gestion des déjections animales. Celles-ci peuvent être sources de méthane : si elles sont entassées et en absence d'oxygène, elles fermentent, et le carbone est transformé en méthane.

Les zones humides sont également une source de méthane : la circulation de l'oxygène est limitée par la présence de l'eau dans le sol, ce qui a pour conséquence de faciliter la création de méthane. Les cultures en zone humide, comme par exemple la riziculture, sont donc une importance source de méthane au niveau mondial.[54]

Les principales sources d'émissions de protoxyde d'azote au niveau agricole sont la fertilisation azotée et le stockage des déjections animales. En agriculture, l'azote est indispensable au développement des végétaux. Ainsi, on répand de l'azote sur les sols, et cet apport peut avoir lieu sous deux formes différentes : un apport organique (fumier, lisier), ou un apport « *d'engrais minéraux de synthèse (obtenus après un processus industriel entre l'azote et l'hydrogène)* »[55].

Le CO_2 énergétique, quant à lui, est notamment utilisé comme carburant pour les engins agricoles, ou pour chauffer les serres et les bâtiments agricoles « *Dans le monde, la mécanisation croissante de l'agriculture implique une forte augmentation des consommations énergétiques* »[56]. De plus, la fabrication des produits agricoles, comme les engrais et les fertilisants, émet elle aussi des gaz à effet de serre.

3.1.3 Déforestation

En 5 ans, plus précisément de 2000 à 2005, 15,2 millions d'hectares de forêt ont disparus, ce qui correspond à la destruction de 40 terrains de football par minute[57]. Ces pertes sont heureusement compensées par le reboisement, qui a permis d'abaisser la perte de 15,2 millions à 6,4 millions. On estime que la déforestation contribue à 17,4% des émissions mondiales de gaz à effet de serre.

La déforestation est essentiellement présente dans les pays qui ont une forte croissance démographique. En effet, l'augmentation de la population implique deux besoins nuisibles à la forêt : un besoin en bois (surtout de bois de feu pour les pays en voie de développement), et un besoin de terres consacrées à l'agriculture : les plantations de palmiers à huile, le développement des cultures pour l'élevage industriel. Cependant, il est souvent impossible de réutiliser ces terres défrichées à des fins agricoles, car les sols tropicaux sont extrêmement fragiles.

Le déboisement dégage du CO_2 et diminue son absorption par les plantes. Les forêts sont en effet d'importants puits de carbones, c'est-à-dire, des lieux de stockage du carbone.

---

53 Réseau Action Climat, *Agriculture et gaz à effet de serre*, p.22
54 Réseau Action Climat, *Agriculture et gaz à effet de serre,* p.20 à 22
55 Réseau Action Climat, *op.cit.* , p.20
56 Réseau Action Climat, *op.cit.* , p. 25
57 http://www.notre-planete.info/environnement/deforestation.php Consulté le 26 octobre, 10:03.

3.2 Origines naturelles

La part de l’effet de serre qui est naturelle dépend essentiellement des nuages et de la vapeur d’eau. Une modification de certains facteurs – la nature, l’altitude et la quantité des nuages[58]– peut directement avoir une influence sur l’effet de serre. Les nuages proviennent des océans (85%) et des végétaux terrestres (15%) qui rejettent « *d’immenses quantités de vapeur dans la couche d’air proche de la surface terrestre* »[59]. Des processus verticaux d’échange d’air permettent de transporter cette humidité dans les hauteurs. Là, les masses d’air sont confrontées à une pression décroissante, ce qui les fait gonfler. Selon des lois de thermodynamique, la température d’une masse d’air baisse de 10 K par kilomètre de montée. Toutefois, la température de ces masses d’air peut baisser jusqu’à ce que l’humidité relative soit de 100%. La vapeur va alors se condenser en de fines gouttelettes de brouillard, ce qui aboutit à la formation des nuages. Les nuages ont la capacité de réfléchir la lumière du soleil et d’absorber la chaleur. Ils contribuent ainsi à refroidir la terre. Toutefois, les nuages « *constituent un autre élément important des mécanismes de rétroaction* »[60]. En effet, ils absorbent les rayons infrarouges, ce qui provoque un effet de serre important, et, par conséquent, réchauffe la planète.

> En résumé, « *tout changement dans la nébulosité, la forme des nuages, leur localisation, leur teneur en eau, leur altitude, les dimensions et les types de particules qui les constituent ou encore leur temps de rémanence peut affecter leur l’influence sur le réchauffement ou le refroidissement de la Terre. Certains changements amplifient le réchauffement, d’autres l’atténuent* »[61].

4. Conséquences des émissions de gaz à effet de serre

4.1 Conséquences sur le climat

Récemment, une équipe de scientifiques franco-russo-américains ont relevé des carottes glaciaires dans la région de Vostok, en Antarctique. La glace extraite des carottages est utilisée dans le but de reconstruire une histoire climatique : cette technique consiste à introduire verticalement un cylindre creux qui prélève les couches de glaces successives qui ont été formées par les couches de neige déposées chaque année. La glace extraite des carottages contient des « *microbulles de gaz piégés et ce sont ces derniers qui nous renseignent sur l'état de l'atmosphère aux époques les plus reculées* »[62].

[58] GASSMANN, *Effet de serre, Modèles et réalités*, p.30
[59] *ibid*. p.30
[60] GIEC, *Questions fréquentes, Qu’est-ce que l’effet de serre*, p. 105
[61] *ibid.* p.105
[62] http://www.pensee-unique.fr/soleil.html Consulté le 11 août 2013, 20:43.

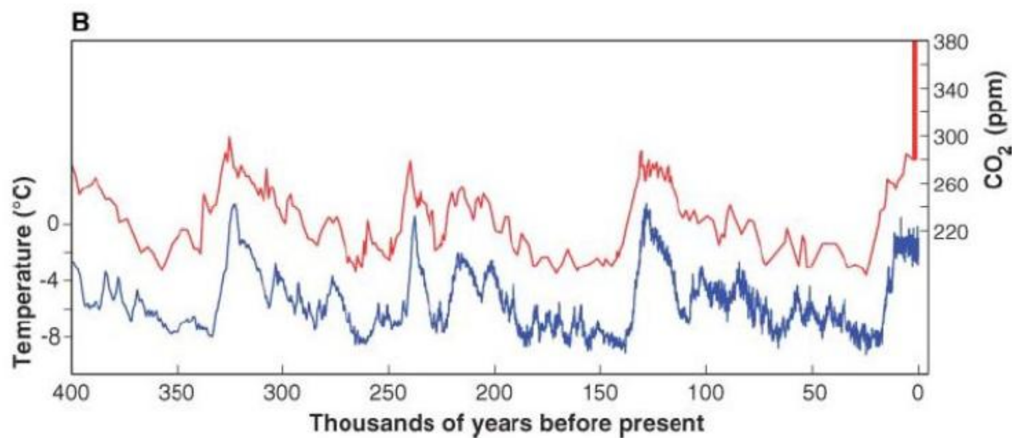


Figure 9 : Corrélation entre la concentration de CO_2 dans l'atmosphère (courbe rouge) et la température terrestre (courbe bleue)[63].

Sur ce graphique, la courbe rouge montre l'évolution de la concentration de CO_2 dans l'atmosphérique depuis -400'000 ans jusqu'à nos jours. La courbe bleue représente l'évolution de la température durant cette même période. On voit tout de suite que la corrélation entre les deux courbes, c'est-à-dire entre la proportion de gaz carbonique et la température de la terre, est excellente. Ainsi selon cette expérience, l'hypothèse que les gaz à effet de serre – ici le CO_2 – sont responsables de l'augmentation de la température globale est vérifiée.

Toutefois, d'autres scientifiques ont superposé les deux courbes de ce même graphique, et ont obtenu ce résultat :

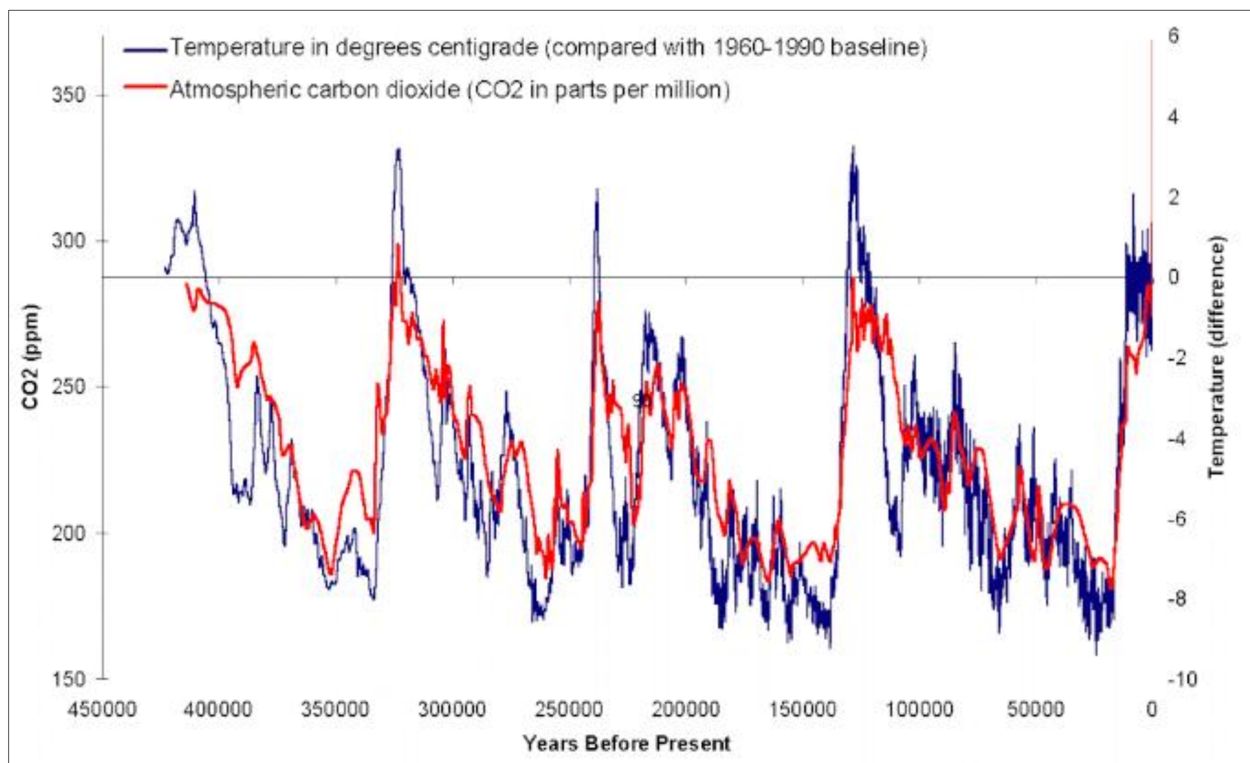


Figure 10 : La courbe rouge (la concentration de gaz carbonique) semble légèrement décalée sur la droite par rapport à la courbe bleue (la température).[64]

[63] http://www.pensee-unique.fr/soleil.html Consulté le 11 août 2013, 20 :56.
[64] http://www.pensee-unique.fr/soleil.html Consulté le 11 août 2013, 20:59.

Ici, un problème se pose : la courbe de la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère (rouge) est légèrement décalée vers la droite par rapport à la courbe de la température (bleue). Cela signifie que la variation de température a précédé la variation de concentration de gaz carbonique[65]. Certains scientifiques aboutissent donc à la conclusion que l'effet de serre, et donc l'homme, n'est absolument pas responsable de la variation de température, mais qu'au contraire, l'augmentation de la température provoque une augmentation de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère.

4.2 Conséquences sur l'environnement

L'une des conséquences principales du changement climatique est celle des phénomènes météorologiques extrêmes. Des accidents mortels et de graves dommages peuvent suivre aux tempêtes, aux avalanches, aux inondations, aux vagues de chaleur et à la sécheresse. Les périodes de chaleur seront plus fréquentes et provoqueront une diminution des rendements agricoles dans les régions chaudes, une hausse de la demande en eau ; les fortes précipitations auront-elles aussi des conséquences sur le domaine agricole : une perte des récoltes ainsi qu'une impossibilité de cultiver les terres détrempées[66].

> Le GIEC déclare en 2007 qu' « *il est probable que la résilience de nombreux écosystèmes sera annihilée durant ce siècle en raison d'une combinaison sans précédent de changements climatiques […]. Si le réchauffement moyen à la surface du globe dépasse 1,5 à 2,5 °C le risque d'extinction d'environ 20 à 30% des espèces végétales et animales étudiées à ce jour sera probablement accru.* »[67]. Le terme *probable* signifie ici une probabilité supérieure à 66%.

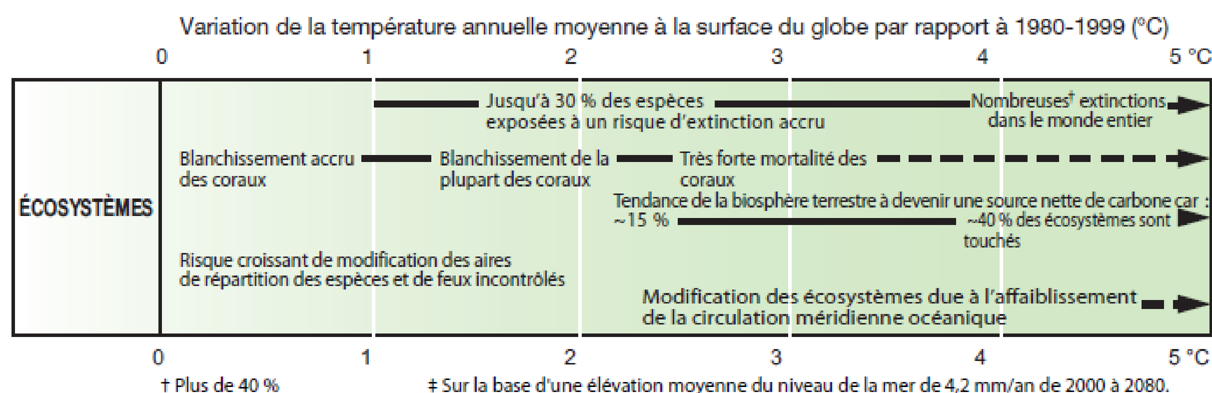


Figure 11 : « Exemples d'incidences associées à l'élévation de la température moyenne à la surface du globe. Les traits noirs relient les diverses incidences entre elles, les flèches en pointillé indiquent que ces incidences se poursuivent avec le réchauffement. La disposition du texte permet de voir approximativement à quel niveau de réchauffement s'amorce l'effet mentionné. […] Toutes ces incidences sont affectées d'un degré de confiance élevé (environ 8 chances sur 10) »[68]

[65] http://www.pensee-unique.fr/soleil.html Consulté le 11 août 2013, 20:59.
[66] GIEC, *Bilan 2007 des changements climatiques, Tableau 3.2*, p.53
[67] GIEC, *Bilan 2007 des changements climatiques*, p.48
[68] GIEC, *op.cit.* , p.51

Parmi les systèmes écologiques concernées par les incidences du changement climatique, figurent les glaciers, les récifs coralliens qui subiront un blanchissement (« *décoloration des coraux résultant de la disparition des organismes symbiotiques qui leur fournissent de l'énergie* »[69]), les forêts tropicales, et les écosystèmes polaires et marins. Toutefois, certains effets peuvent être positifs car, ils provoqueront un accroissement des récoltes dans certaines régions, des ressources en eaux dans des lieux défavorisés, ainsi que de la productivité des forêts[70].

4.3 Conséquences sur la santé

L'élévation des températures aura pour conséquence une augmentation du taux de mortalité[71] - les personnes âgées et pauvres en milieu urbain seront les premières victimes des vagues de chaleur[72] -, ainsi qu'une augmentation « des maladies à vecteurs », maladies où l'agent pathogène est véhiculé par un animal – généralement un insecte – comme par exemple, le paludisme, la fièvre jaune ou la dengue. Cet agent pathogène peut ainsi se trouver adapté à des lieux géographiques différents en raison de la température, par exemple le nord. Dans ce cas, le GIEC parle de *« modification de la distribution géographique de certaines maladies infectieuses »*[73].

Il y aura également une augmentation d'accidents, de décès et de maladies liés aux phénomènes météorologiques extrêmes, ainsi qu'une « *multiplication des affections cardiorespiratoires liées aux fortes concentrations d'ozone troposphérique dans les zones urbaines* »[74]. Cependant, le réchauffement climatique pourrait avoir des conséquences positives : « *Les hivers plus chauds et la diminution des vagues de froid diminueront la mortalité […]* »[75].

Toutefois, il reste très difficile de déterminer précisément quels impacts auront les changements climatiques sur le taux de mortalité et la santé de la population, car ils dépendent d'autres facteurs, dont notamment la disponibilité et l'efficacité des moyens sanitaires, le nombre de voyages lointains favorisant l'augmentation des contaminations, la préparation des populations, …

4.4 Critique

Les controverses sur le changement climatique sont loin d'être résolues. En effet, à la majorité des scientifiques du climat s'opposent quelques « climatosceptiques ». Ceux-ci nient toute responsabilité humaine dans le changement climatique. Le NIPCC, soit le *Nongovernmental International Panel on Climate Change*, fondé en 2003, s'oppose totalement aux résultats de l'IPCC. Le titre de leur rapport publié en 2008 expose d'ailleurs parfaitement le sens de leurs idées : *Nature*, *Not Human Activity*, *Rules the Climate* – soit *C'est la nature et non l'activité humaine qui détermine le climat.* Le NIPCC accuse l'IPCC d'être non seulement « *préprogrammé dans le but de fournir des rapports qui vont dans le*

---

[69] GIEC, *Bilan 2007 des changements climatiques*, p.77
[70] PETIT, *Qu'est-ce que l'effet de serre, Ses conséquences sur l'avenir du climat*, p.76
[71] LE TREUT/JANCOVICI, *L'effet de serre, Allons-nous changer le climat ?*, p.129
[72] PETIT, *Qu'est-ce que l'effet de serre, Ses conséquences sur l'avenir du climat*, p.87
[73] GIEC, *Bilan 2007 des changements climatiques*, p.48
[74] *ibid*. p.48
[75] PETIT, *Qu'est-ce que l'effet de serre ?, Ses conséquences sur l'avenir du climat*, p.87

sens de l'hypothèse du réchauffement climatique généré par les activités humaines […] »[76], mais aussi d'utiliser des modèles climatiques qui ne sont pas fiables. D'ailleurs, Charles Müller, qui propose un test vrai/faux sur son blog répond « faux » à l'affirmation « Le GIEC est objectif et n'a pas de préjugés »[77].

Toutefois, les scientifiques du climat ne reconnaissent aucune légitimité scientifique aux « climatosceptiques ». « *Ignorant la science du climat, leurs arguments ne sont pas recevables ; leurs discours sont truffés d'erreurs, et parfois de mensonges.* »[78] François Meynard répond cependant à cette accusation en dédiant un chapitre de son livre – intitulé « *Pourris les « climatosceptiques » ? Réponse en quelques portraits* » - à énumérer près d'une centaine de « climatosceptiques » dont les métiers passent de docteur en physique à mathématicien, climatologue ou encore géophysicien[79]. Aux Etats-Unis, des sociologues des sciences ont montré que des « climatosceptiques » étaient subventionnées par des *lobbies* pour installer le doute dans la société.

> « *Marchands de doute professionnels, ils s'emploient à entretenir artificiellement l'ignorance dans le public, dans le but d'empêcher les mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre qui devraient s'imposer si on écoutait l'expertise du GIEC.* »[80].

Évidemment, le NIPCC précise dans la préface de son rapport qu'aucune contribution financière n'a été promise pour la production de ce rapport, et que ces scientifiques climatosceptiques ont

> « *[…] fait don de leur temps et de leurs efforts pour rédiger ce rapport, motivés par l'inquiétude que l'IPCC provoquait une peur irrationnelle d'un réchauffement global anthropogénique basé sur une science incomplète et erronée* »[81]. François Meynard explique que « *le monde des climatosceptiques n'est pas peuplé que de monstres et de scientifiques pourris à la solde des lobbies sans foi ni autre loi que celle du profit. D'excellents scientifiques et parmi eux des climatologues de renom sont climatosceptiques* »[82].

Une autre polémique climatique, plutôt centrée sur l'Europe cette fois-ci, est portée par les « climatosceptiques » qui accusent les climatologues d'être influencés par une « idéologie verte » et donc d'agir contre le progrès scientifique. Les compétences et l'honnêteté des climatologues sont alors mises en doute.

Toutefois, face à toutes ces polémiques, qu'en est-il de l'opinion publique ? L'opinion publique est une « *moyenne des opinions individuelles* »[83] : soit elle est persuadée que l'homme doit réduire ses émissions de gaz à effet de serre, soit, au contraire, elle ne croit pas au danger d'un changement climatique et le considère comme « *un problème parmi bien d'autres* »[84]. Il existe donc plusieurs catégories de personnes, auxquelles correspond une opinion particulière.

---

[76] NIPCC, *Nature, Not Human Activity, Rules the Climate*, p.4
[77] www.climat-sceptique.over-blog.com Consulté le 7 août 2013 à 13:52.
[78] GUILLEMOT / AYKUT, *La Recherche n°478, Trois débats sur le climat*, p.74
[79] MEYNARD, *La légende de l'effet de serre, Manuel de démystification des problèmes et faux problèmes climatiques*, p.25
[80] GUILLEMOT / AYKUT, *op.cit.* , p.75
[81] NIPCC, *Nature, Not Human Activity, Rules the Climate*, p.9
[82] MEYNARD, *La légende de l'effet de serre, Manuel de démystification des problèmes et faux problèmes climatiques*, p.13
[83] PETIT, *Qu'est-ce que l'effet de serre ?, Ses conséquences sur l'avenir du climat*, p.27
[84] *ibid*. p.27

Tout d'abord, commençons par les adorateurs de la nature qui voient le réchauffement climatique comme une preuve incontestable des méfaits des progrès techniques. Ceux-ci mettent donc en avant les pires conséquences imaginables, et « *sombrent dans un catastrophisme que les médias ne peuvent que relayer avec complaisance* »[85]. Cette façon pessimiste de voir le réchauffement climatique peut, d'une part, accélérer la prise de conscience d'un problème sérieux ; mais d'autre part, peut aussi le décrédibiliser par cet abus de catastrophisme.

En deuxième lieu se trouvent les scientifiques passionnés, qui peuvent avoir tendance à mettre l'accent sur des hypothèses qui les conduiront aux résultats les plus extrêmes, les plus inquiétants, dans le but d'attirer l'intérêt des décideurs et par conséquent de trouver un financement.

Arrive ensuite le secteur énergétique. Leur avenir financier risque d'être bouleversé si l'on décide d'imposer une limite à l'utilisation de combustibles fossiles. Ce secteur va donc mettre l'accent sur les incertitudes de certains résultats et va minimiser les conséquences néfastes du réchauffement. Quant au secteur de l'énergie nucléaire, il va réagir de manière totalement opposée et va se lancer dans la lutte contre l'effet de serre, puisqu'il représente actuellement une des solutions les plus envisagées pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre[86].

Face à tous ces avis divergents, celui qui n'appartient à aucune de ces catégories, « l'homme de la rue », va s'intéresser aux « *positions extrêmes qui retiennent plus facilement l'attention du public que les positions nuancées* »[87], celles diffusées par les médias. Il est en effet parfois difficile de faire le tri entre les informations, de comprendre les articles écrits par les spécialistes. Michel Petit conclue toutefois que :

> « *Heureusement, les rapports du Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) mettent un peu d'ordre dans cette cacophonie et font de manière objective la synthèse de toutes les études pertinentes publiées* »[88].

Finalement une autre hypothèse est envisagée par quelques climatologues : certains scientifiques ne croient pas au rôle de l'effet de serre dans le réchauffement climatique, mais soutiennent que ce n'est autre que le soleil qui a causé cette variation. Des chercheurs astrophysiciens ont en effet convaincu plusieurs scientifiques du climat en observant la corrélation entre la température du globe de 1750 à 2000 et la durée des cycles des éruptions solaires. En effet, ces deux phénomènes semblent étroitement liés, et ainsi beaucoup de scientifiques affirment que le soleil, et non l'effet de serre, est responsable du réchauffement planétaire actuel – et des réchauffements et refroidissements passés.

---

[85] PETIT, *Qu'est-ce que l'effet de serre ?, Ses conséquences sur l'avenir du climat*, p.28
[86] *ibid.* p.31
[87] *ibid.* p.32
[88] *ibid*. p.32

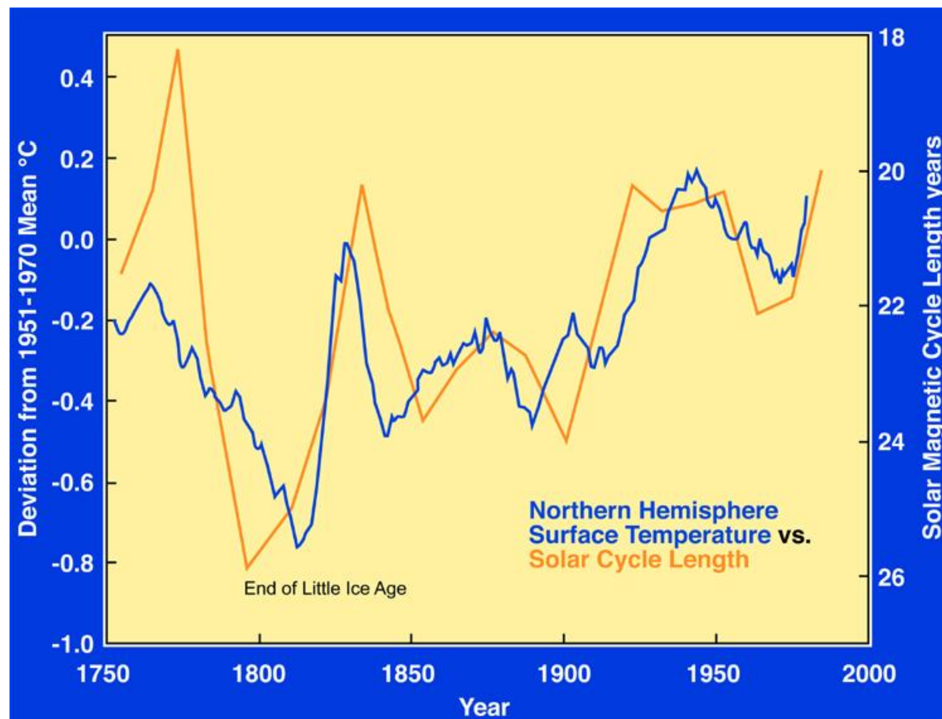


Figure 12 : Corrélation entre la durée des cycles des éruptions solaires (en jaune) et la température du globe (en bleu).[89]

5. Les émissions futures de gaz à effet de serre : scénarios et solutions

5.1 Scénarios d'émissions

L'importance des changements climatiques à venir dépend des émissions futures de gaz à effet de serre, lesquelles sont toutefois impossibles à estimer. Le GIEC a donc construit plusieurs scénarios possibles, en se basant sur différents facteurs démographiques, économiques, sociologiques et techniques. Ces scénarios d'émissions sont définis par le GIEC comme des « *représentations vraisemblables et souvent simplifiées du climat futur, fondées sur un ensemble intrinsèquement cohérent de relations climatologiques et établies expressément pour déterminer les conséquences possibles des changements climatiques anthropiques [...]* »[90]. Ils n'ont pas été hiérarchisés, c'est-à-dire qu'aucun d'entre eux n'est présenté comme plus probable que les autres.

Les scénarios SRES sont regroupés en 4 familles qui étudient différentes voies de développement en se fondant sur différents critères démographiques, économiques et technologiques. Dans ces scénarios, seules les politiques climatiques actuelles sont prises en considération.

La première famille, ou canevas, est la A1, qui étudie les émissions de gaz à effet de serre d'un monde caractérisé par une « *croissance économique très rapide, un pic de la population mondiale au milieu du siècle et l'adoption rapide de nouvelles technologies plus efficaces* »[91]. Cette famille se divise en trois groupes : A1FI, « FI » signifiant « *fossil*

---

[89] http://www.pensee-unique.fr/theses.html Consulté le 18.08.13, 17:12
[90] GIEC, *Bilan 2007 des changements climatiques*, p.86
[91] GIEC, *op.cit.* , p.44

intensive »[92], qui correspond à une évolution technologique dont la source d'énergie est à forte composante fossile, A1T dont la source d'énergie est non fossile, et A1B qui n'a aucune source d'énergie spécifique.

Le canevas B1 étudie un monde dont les caractéristiques démographiques sont semblables au canevas A1, c'est-à-dire où la population mondiale atteint 9 milliards d'individus en 2050, mais avec « *une évolution plus rapide des structures économiques vers une économie de services et d'information* »[93].

Le canevas A2 décrit un monde très hétérogène caractérisé par une forte croissance démographique – 15 milliards d'individus en 2100 –, un faible développement au niveau de l'économie et de lents progrès technologiques[94].

Enfin, le canevas B2 décrit un monde où l'on privilégie les solutions locales. La population s'accroit de manière plus faible que dans A2 : en 2100, la population mondiale culmine à 10 milliards d'individus.

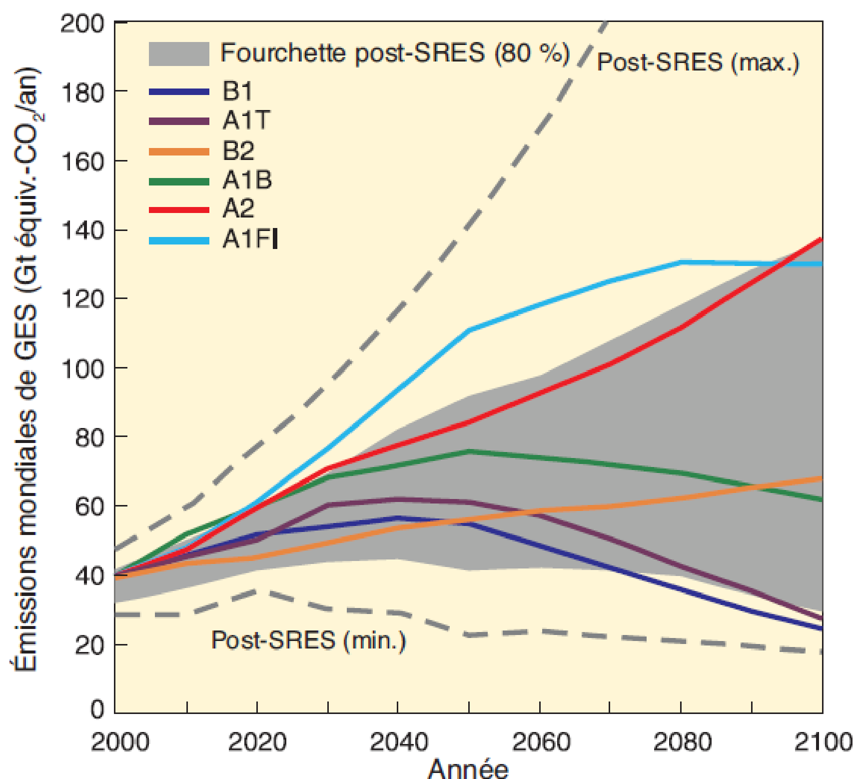


Figure 13 : « *Scénarios d'émissions de GES pour la période 2000-2100 en l'absence de politiques climatiques additionnelles. Les courbes en pointillé délimitent la plage complète des scénarios post-SRES. Les GES sont le CO_2, le CH_4, le N_2O et les gaz fluorés* »[95].

Selon les scénarios SRES, les émissions de gaz à effet de serre devraient augmenter de 9,7 à 36,7 Gt entre 2000 et 2030[96], ce qui correspond à une augmentation de 25 à 90%.

[92] LE TREUT/JANCOVICI, *L'effet de serre, Allons-nous changer le climat ?*, p.98
[93] GIEC, *Bilan 2007 des changements climatiques*, p.44
[94] GIEC, *Rapport spécial du GIEC, Scénarios d'émissions*, p.9
[95] GIEC, *Bilan 2007 des changements climatiques*, p.44
[96] *ibid.* p.44

5.2 Capture de dioxyde de carbone

Selon le GIEC, la capture de dioxyde de carbone est « *un processus consistant à séparer le CO_2 de ses sources industrielles et énergétiques, à le transporter dans un lieu de stockage et à l'isoler de l'atmosphère sur le long terme* »[97]. C'est ainsi une solution pour réduire la quantité de dioxyde de carbone émis dans l'atmosphère. En novembre 2006, cette solution a été approuvée par tous les pays développés lors de la conférence de Nairobi sur le protocole de Kyoto. La capture du dioxyde de carbone se fait en plusieurs étapes : le piégeage, le transport et le stockage du gaz qui peut se faire dans plusieurs types de sites.

5.2.1 Piégeage et transport du CO_2

Il existe différentes techniques de piégeage du CO_2 : la postcombustion, la précombustion et l'oxycombustion.

La postcombustion, la méthode la plus au point, consiste à brûler le combustible (charbon, fioul, gaz naturel, etc.) à l'air, puis à séparer la fraction du CO_2 (environ 3 à 15%[98]) des autres gaz en envoyant la fumée de la combustion vers des solvants liquides capables d'absorber le CO_2.[99]

L'oxycombustion est une technique semblable, mais la matière première est brûlée dans l'oxygène et non dans l'air. Il faut donc séparer l'oxygène de l'air avant la combustion, et la combustion dans l'oxygène est difficilement maîtrisable. Le gaz produit sera composé principalement de vapeur d'eau et de CO_2. Par refroidissement et compression du flux gazeux, la vapeur d'eau est extraite de telle manière à obtenir que le CO_2. Cette technique est encore à l'étape expérimentale.

La troisième technique, celle de la postcombustion, ou captage précombustion[100], a pour but d'extraire un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone, après avoir traité le combustible primaire dans des réacteurs avec de la vapeur et de l'air ou de l'oxygène. Une deuxième réaction permet alors d'obtenir davantage d'hydrogène et de CO_2. Le flux de CO_2 est destiné au stockage alors que le flux d'hydrogène sera brûlé pour produire de l'électricité ou de la chaleur[101].

---

[97] GIEC, *Rapport spécial, Piégeage et stockage du dioxyde de carbone*, p.9
[98] GIEC, *op.cit.* , p.31
[99] BROUTIN, *La Recherche n°417, « Capter et stocker le CO2 en sous-sol dès 2015 »*, p.26
[100] *ibid.* p.26
[101] GIEC, *Rapport spécial, Piégeage et stockage du dioxyde de carbone*, p.31

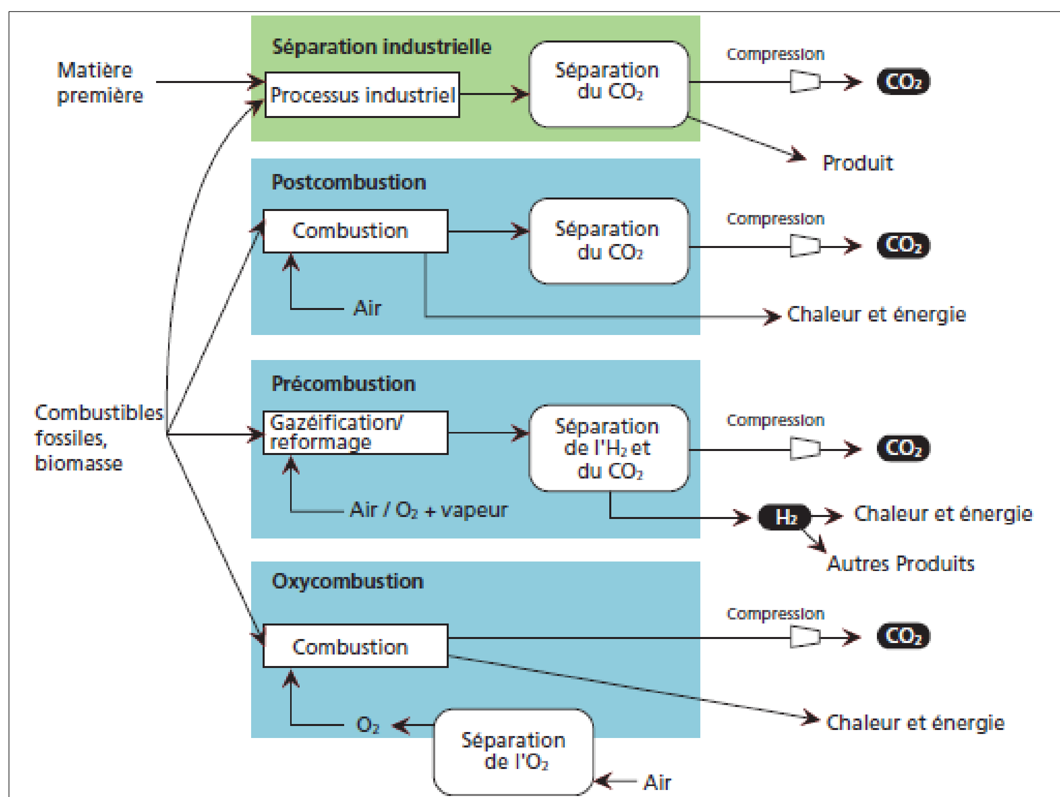


Figure 14 : Schéma de systèmes de piégeages du CO_2. Les combustibles et les produits sont indiqués pour l'oxycombustion, la précombustion et la postcombustion et les sources industrielles de CO_2.[102]

Une fois le CO_2 piégé, il faut l'acheminer vers un site de stockage, qui soit, si possible, proche du lieu d'émission. La méthode la plus courante pour transporter le CO_2 est de l'acheminer grâce à des gazoducs. Une deuxième méthode est celle de la voie maritime, routière ou ferroviaire : le CO_2, en phase liquide, est enfermé dans des citernes isothermes à une température beaucoup plus basse que celle de l'air ambiant. Durant le transport, il est possible que du dioxyde de carbone s'échappe dans l'atmosphère « *même si les déperditions à partir de gazoducs sont très faibles* »[103].

5.2.2 Stockage du CO2 et impacts sur l'environnement

Le stockage du dioxyde de carbone peut se faire dans plusieurs sites. Il existe ainsi deux différents stockages : le stockage géologique, et le stockage océanique. Le dioxyde de carbone doit y être enfermé pendant au moins mille ans, « *période jugée indispensable à une stabilisation de la teneur de ce gaz dans l'atmosphère* »[104].

Le stockage géologique peut se faire dans trois sortes de couches géologiques profondes : les gisements de pétrole et de gaz naturel, les formations salines profondes et les veines de charbon inexploitées. Il consiste à injecter du CO_2 de haute densité dans une roche souterraine à plus de 800 mètres de profondeur. Dans des bassins sédimentaires se trouvent des formations poreuses qui renferment des fluides (gaz naturel, pétrole, ...) et qui peuvent servir au stockage. À cette profondeur, le gaz se trouve en phase liquide, ou supercritique à cause de la pression et de la température ambiante. Il aura ainsi tendance à remonter et il faut

---

[102] GIEC, *Rapport spécial, Piégeage et stockage du dioxyde de carbone*, p.32
[103] GIEC, *op.cit.*, p.36
[104] BARUCH, *La Recherche n°404, Peut-on enterrer l'effet de serre ?*, p.48

donc que le réservoir soit recouvert d'une roche étanche[105]. Il faut aussi évaluer les risques de fuites causés par les réactions chimiques entre le gaz et les roches : le CO_2 peut dissoudre les roches et créer ainsi des voies de passages vers la surface[106]. Avant l'injection il faudra également s'assurer de l'absence de failles dans le puits.

Dans le cas d'une fuite, l'impact sur l'environnement pourrait être soit d'ordre mondial : une brusque accélération du réchauffement climatique ; soit d'ordre local : danger pour la population, les écosystèmes et les eaux souterraines. Il existe en effet deux possibilités de fuites : la première est un rejet brusque dans l'atmosphère, causé par exemple par la rupture des puits d'injection ou la remontée du dioxyde de carbone dans un puits abandonné. Il y aurait alors une menace pour la vie et la santé des personnes présentes sur le lieu de fuite, car une concentration de CO_2 dans l'air supérieure à 7% est dangereuse. La deuxième consiste en une fuite « *diffuse et progressive par des failles ou des fissures non décelées, ou encore par des puits qui ne sont pas étanches* »[107]. De cette façon, les eaux souterraines pourraient être contaminées et les sols acidifiés.

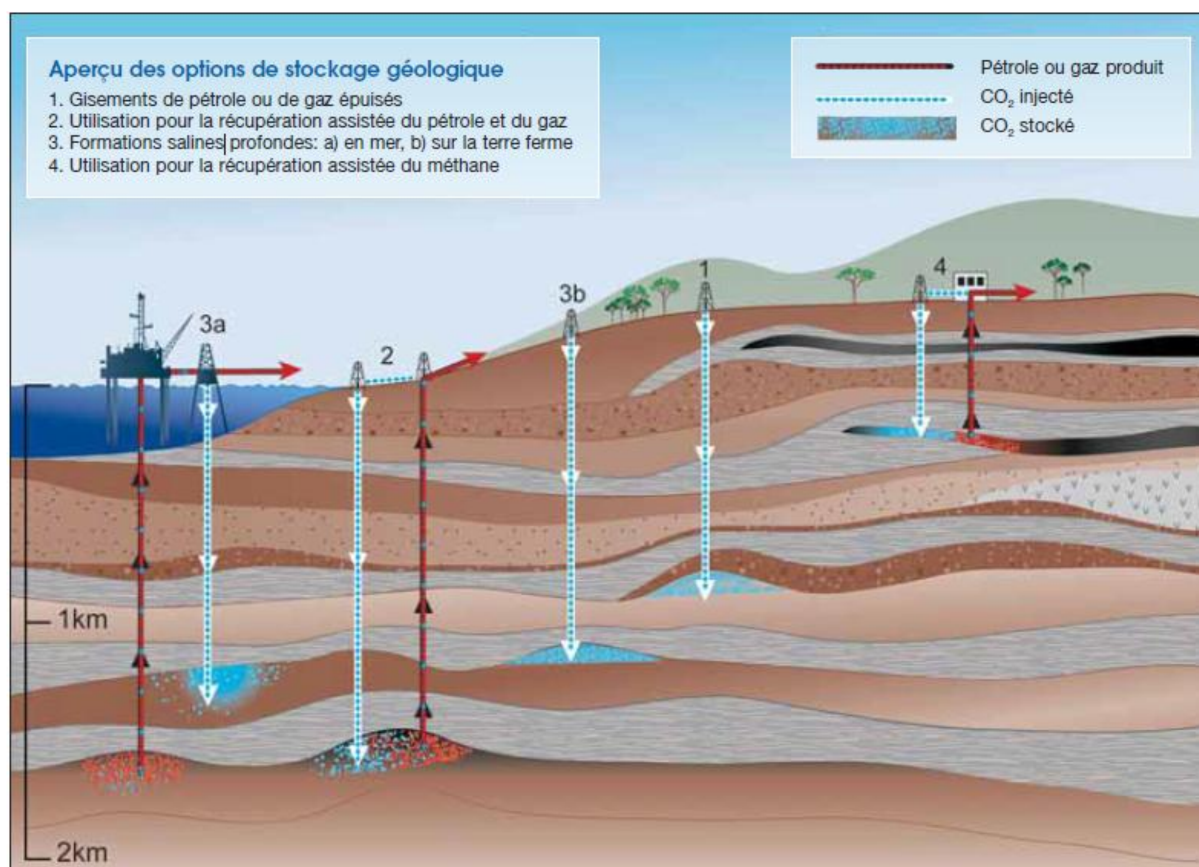


Figure 15 : Méthodes de stockage du CO_2 dans les couches géologiques profondes.[108]

Le stockage océanique pourrait se faire selon deux techniques différentes : la première, de « type dissolution »[109] consiste à injecter et à dissoudre le CO_2 à plus de 1000 mètres de profondeur au moyen d'un gazoduc fixe ou d'un navire en mouvement, et la deuxième, de

---

105 GIEC, *Rapport spécial, Piégeage et stockage du dioxyde de carbone*, p.38
106 BARUCH, *La Recherche n°404, Peut-on enterrer l'effet de serre ?,* p.48
107 GIEC, *op.cit.* , p.41
108 GIEC, *op.cit.* , p.12
109 *ibid*. p.14

« type lac »[110] consiste à déposer le gaz au fond de l'océan, c'est-à-dire à plus de 3000 mètres de profondeur, au moyen d'un gazoduc fixe, ou d'une plate-forme en mer. Le CO_2, plus dense que l'eau devrait ainsi former un lac. Cette technique de stockage est toutefois encore à l'étape de la recherche et de la simulation en laboratoire. En effet, la catastrophe du Lac Nyos, au Cameroun, est encore dans les esprits[111] : en 1986, 1 km^3 de CO_2 s'est échappé brusquement du lac, sous lequel se trouvait une poche naturelle. Environ 1700 personnes ont été tuées.

Au niveau de l'impact sur l'environnement que peut avoir cette solution de diminution du réchauffement planétaire, le GIEC explique que

> « *L'injection de quelques gigatonnes de CO_2 modifierait de manière sensible la chimie des eaux dans la zone concernée, tandis que l'injection de centaines de gigatonnes produirait des changements plus marqués dans la zone environnante, suivis de modifications mesurables dans le volume total de l'océan* ».

L'augmentation de la teneur en CO_2 dans les océans peut nuire aux organismes marins : il y aurait une baisse de la croissance, de la reproduction, de la mobilité, ainsi qu'une augmentation de la mortalité[112].

5.3 La géo-ingénierie

Pour lutter contre le réchauffement climatique, certains scientifiques envisagent de manipuler le climat, soit de pratiquer la géo-ingénierie. Des projets fous sont proposés dans le but de sauver la planète.

L'un de ces projets consiste à envoyer dans la stratosphère des particules réfléchissant le rayonnement solaire. Paul Crutzen, chimiste et météorologue néerlandais, prix Nobel de chimie de 1995, propose ainsi d'envoyer au moins un million de tonnes de soufre ou de sulfure d'hydrogène dans la stratosphère, qui est la couche de l'atmosphère située entre 10 et 50 kilomètres d'altitude. À cette hauteur, les particules réfléchissantes peuvent vivre pendant un ou deux ans, alors que si elles étaient envoyées dans la troposphère – à moins de 10 kilomètres d'altitude – elles n'y resteraient qu'une semaine. A ce niveau, les composés sont brûlés de manière à obtenir de l'oxyde de soufre, qui devient ensuite des particules de sulfate. Cette proposition suscite de nombreux débats et impose évidemment la nécessité de faire des expériences afin de définir quels seront les risques et s'ils sont acceptables ou non. David Keith, qui a publié un plaidoyer en faveur de la géo-ingénierie du climat en l'an 2000, explique que :

> « *Ces expériences doivent répondre à des questions importantes : quelle technologie permettra de contrôler la taille des gouttelettes ? Comment se comporteraient des particules solides ? Comment pouvons-nous prévoir la perte d'ozone, en particulier quand la vapeur d'eau augmente dans la stratosphère ? Existe-t-il des moyens de réduire ou de supprimer un effet sur l'ozone ?* »[113].

Cette solution radicale s'inspire de phénomènes naturels : en particulier les grosses éruptions volcaniques capables de modifier le climat terrestre, mais aussi les plus petites

[110] GIEC, *Rapport spécial, Piégeage et stockage du dioxyde de carbone* p.14
[111] BARUCH, *La Recherche n°404, Peut-on enterrer l'effet de serre ?*, p.48
[112] GIEC, *Rapport spécial, Piégeage et stockage du dioxyde de carbone*, p.45
[113] DELBECQ, *La Recherche n°467, Le grand débat « Faut-il investir dans la géo-ingénierie de l'atmosphère ? », KEITH « En dispersant des aérosols soufrés on peut freiner le réchauffement climatique »,* p.100

éruptions qui apportent des informations sur la dispersion des panaches. En 1991 en effet, le volcan Pinatobu aux Philippines a propulsé au moins 10 millions de tonnes de sulfates jusqu'à 35 kilomètres d'altitude. Dans l'année suivant l'éruption, les températures ont chuté de 0,4 à 0,6 °C[114].

Un aspect problématique de cette géo-ingénierie est la courte durée de vie des aérosols dans l'atmosphère. Si un conflit ou une crise économique devrait provoquer l'arrêt des injections de sulfates, « *80% du réchauffement évité réapparaitrait en seulement 10 ans, ce qui poserait un grave problème d'adaptation* »[115].

D'autres projets sont aussi envisagés, comme celui de répandre d'énormes quantités de fer dans les océans[116]. Le fer va en effet accélérer la croissance du phytoplancton dans les océans, lequel absorbe le dioxyde de carbone et rejette de l'oxygène.

5.4 Critique

Face à la difficulté de freiner notre consommation d'énergies fossiles, quelques scientifiques proposent de capturer le dioxyde de carbone émis par les usines et de le stocker en sous-sol. Beaucoup de scientifiques s'opposent toutefois à cette solution miracle, dont les conséquences à moyen et à long terme sont encore méconnues. Andrea Esken, spécialiste de l'énergie, relève plusieurs aspects problématiques : tout d'abord, le fait de capturer le dioxyde de carbone augmente lui-même les émissions de CO_2 et de polluants[117]. De plus, lors de la capture, des déchets dangereux sont produits à cause des réactions chimiques avec les substances utilisées pour extraire le carbone, ce qui pourrait entraîner une pollution de l'air, mais aussi de l'eau. Un autre aspect qui pose problème est l'aspect économique : la capture du gaz carbonique et la production de gazoducs exigent de lourds investissements. Finalement, « *même si la séquestration se révélait à la fois viable commercialement et compétitive, son essor resterait gêné par la disponibilité de sites adaptés et sûrs et par son acceptation publique* »[118]. La spécialiste allemande soutient donc le développement des énergies renouvelables, qui selon elle, demeure une meilleure solution, moins couteuse et moins risquée.

---

[114] KLINGLER, *La Recherche n°466, La géo-ingénierie en mal de gouvernance*, p.98

[115] DELBECQ, *La Recherche n°467, Le grand débat « Faut-il investir dans la géo-ingénierie de l'atmosphère ? », BOUCHER « Il est encore trop tôt pour conduire des expériences dans la stratosphère »,* p.100

[116] http://www.pensee-unique.fr/remedes.html Consulté le 8 août 2013, 15:02

[117] DELBECQ, *La Recherche n°454, Le grand débat « Faut-il enfouir le dioxyde de carbone ? », ESKEN « Le développement des énergies renouvelables est une meilleure solution »,* p.100

[118] *ibid*. p.100

6. Conclusion

La hausse des températures est indiscutable ; il y a véritablement un réchauffement climatique. Que celui-ci soit normal, simple augmentation des températures à la sortie du petit Age glaciaire, ou anormal ; qu'il soit causé par l'homme ou par la nature, aucune preuve incontestable n'y répond encore. La communauté des scientifiques se divisent entre les climatologues persuadés que l'homme a provoqué ce réchauffement par ses émissions massives de gaz à effet de serre, et les autres – souvent appelés « climatosceptiques » – qui soutiennent d'autres hypothèses selon lesquelles ce n'est pas l'homme qui joue un rôle dans la changement climatique, mais la nature : une variabilité naturelle, les éruptions solaires, le courant marin El Niño, …

Les polémiques, les controverses et les débats ne s'arrêtent plus, mais en attendant les températures continuent d'augmenter. Quelques tristes records en suivent : un exemple parmi tant d'autres est celui de la banquise de l'océan arctique qui a atteint en septembre 2012 sa plus petite superficie depuis que les mesures ont commencé en 1979 : moins de 3,6 millions de kilomètres carrés[119], pour 7,23 millions entre 1979 et 2000, ce qui correspond à une fonte d'environ 50%. L'océan arctique se dérègle aussi, et la faune et la flore des deux pôles sont déjà menacées par les espèces migrantes attirées par l'adoucissement du climat. Pour certains, il est désormais urgent d'agir. Les débats sur l'importance du réchauffement climatique, ses responsables, ses conséquences et les moyens d'y faire face ne sont certes pas prêts de disparaître, toutefois « *Plus les climatologues affinent leurs modèles, plus ils confirment que les émissions de gaz à effet de serre dues aux activités humaines sont responsables d'un réchauffement global rapide.*»[120].

Finalement, de nombreux pays cherchent à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et même s'il existe divers obstacles politiques ou financiers, le GIEC soutient que :

> « *Les efforts […] qui seront réalisés dans les vingt à trente prochaines années auront une incidence notable sur la possibilité de stabiliser des concentrations à un niveau relativement bas. Tout retard pris dans la réduction des émissions amenuiserait sensiblement cette possibilité et accentuerait les risques d'aggravation des effets* »[121].

[119] REMY/BERTHIER, *La Recherche Hors-Série n°51, L'urgence climatique*, p.17
[120] DELBECQ, *La Recherche n°472, Réchauffement climatique : ce qui nous attend vraiment*, p.37
[121] GIEC, *Changements climatiques 2007, Rapport de synthèse*, p.73

Bilan personnel

Tout d'abord, le choix de ce travail de maturité a été une surprise non seulement pour mon entourage, mais aussi pour moi-même. En effet, je n'envisage absolument pas de poursuivre mes études dans une voie scientifique, et encore moins physique, n'ayant jamais véritablement eu de facilité particulière quant à la compréhension de cette branche. Toutefois, le thème du changement climatique m'a tout de suite attirée. Le fait de chercher la « vérité », ou plutôt les arguments, les preuves purement scientifiques, et de savoir les distinguer du reste et des arguments pas fondés m'a poussée à choisir ce thème.

Évidemment, la rédaction de ce travail n'a pas forcément été simple. Tout d'abord il a fallu s'habituer à la lecture scientifique (par exemple les rapports du GIEC), à son jargon spécifique, et à son style – selon moi, pas toujours agréable. Il a fallu ensuite rechercher d'autres sources que celle du GIEC, et pour cela apprendre à distinguer un livre ou une revue scientifique basé(e) sur des mesures et des faits, d'un livre criant à la catastrophe ou à la manipulation. Enfin, la réalisation de calculs ou d'estimations m'a pris beaucoup de temps, ayant dû faire de nombreuses recherches et vérifications ; heureusement, le fait de voir que mes résultats correspondaient à la réalité et aux graphiques m'a encouragée.

Finalement, la réalisation de ce TM m'a poussée à développer mon esprit critique, à faire des recherches (pour les sources, pour la compréhension de certains sujets dans les documents scientifiques, pour la réalisation de calculs, …) de manière autonome, et également à m'exprimer d'une façon précise et compréhensible. Toutes les découvertes, les lectures et les recherches que j'ai faites au sujet du réchauffement climatique, et plus précisément de l'effet de serre, font maintenant partie de ma culture générale ; le fait de se rendre compte d'avoir vraiment appris quelque chose est plutôt satisfaisant.

En résumé, lors de la réalisation de ce travail de maturité, j'ai bien sur rencontré quelques obstacles, certes pas infranchissables, et ai aussi appris à développer une méthodologie de travail, ce qui sera sans doute positif pour la suite de mes études. Au final, je reste plutôt satisfaite du résultat et du document définitif de mon TM.

Bibliographie

Ouvrages imprimés :

BARD (Édouard)
« L'effet de serre », in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, août 2002, n°356, p.50

BARD (Édouard)
L'homme et le climat, Une liaison dangereuse, France, Découvertes Gallimard, novembre 2005, 127 p.

BARUCH (Jacques-Olivier)
« Peut-on enterrer l'effet de serre ? », in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, janvier 2007, n°404, p.48

BERTHIER (Etienne) / REMY (Frédérique)
« L'urgence climatique », in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, octobre 2012, Hors-Série n°51, p.17

BOPP (Laurent) / LEGENDRE (Louis) / MONFRAY (Patrick)
« La pompe à carbone va-t-elle se gripper ? », in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, juillet 2002, n°355, p.48

BOUCHER (Olivier)
« Le double jeu des aérosols », in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, décembre 2007, n°414, p.40

BOUCHER (Olivier)
« Il est encore trop tôt pour conduire des expériences dans la stratosphère », in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, septembre 2012, n°467, p.100

BROUTIN (Paul)
« Capter et stocker le CO_2 en sous-sol dès 2015 », in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, mars 2008, n°417, p.26

COISNE (Sophie)
Paul Crutzen : « Et si l'on manipulait le climat ? », in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, juin 2006, n°399, p.82

DELBECQ (Denis)
« Le grand débat : Faut-il investir dans la géo-ingénierie de l'atmosphère ? », in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, septembre 2012, n°467, p.100

DELBECQ (Denis)
« Réchauffement climatique : ce qui nous attend vraiment », in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, février 2013, n°472, p.37

DENHEZ (Frédéric)
Atlas de la menace climatique, Le réchauffement de l'atmosphère : enjeu numéro un de notre siècle, Paris, Éditions Autrement, 2005, 79 p.

DUCROUX (René) et JEAN-BAPTISTE (Philippe)
L'effet de serre, Réalité, conséquences et solutions, Paris, CNRS ÉDITIONS, 2004, 95 p.

ESKEN (Andrea)
« Le développement des énergies renouvelables est une meilleure solution » in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, juillet 2011, n°454, p.100

GASSMANN (Fritz)
Effet de serre, modèles et réalités, Genève, Georg Editeur, 1996, 141 p.

GIEC
Rapport spécial sur les scénarios d'émissions, Genève, 2000, 27p.

GIEC
Rapport spécial sur le piégeage et stockage du dioxyde de carbone, Genève, 2005, 66 p.

GIEC
Bilan 2007 des changements climatiques, Genève, 2007, 103 p.

GIEC
Questions fréquentes, Changements climatiques 2007, University Press, Cambridge, Royaume Uni et New York, NY, Etats-Unis, 2007, 43 p.

GUILLEMOT (Hélène) et AYKUT (Stefan)
« Le réchauffement climatique, Climatologues contre climatosceptiques », in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, août 2013, n°478, p.73-77

KLINGLER (Cécile)
« La géo-ingénierie en mal de gouvernance », in *La Recherche, L'actualité des sciences*, Paris, Sophia Publications, juin 2012, n°466, p.98

LE TREUT (Hervé) et JANCOVICI (Jean-Marc)
L'effet de serre, Allons-nous changer le climat ?, Paris, Éditions Flammarion, 2004, 222 p.

MEYNARD (François)
La légende de l'effet de serre, Manuel de démystification des problèmes et faux problèmes climatique, Lausanne, Éditions Favre SA, 2011, 268 p.

NIPCC
S. Fred Singer, ed., *Nature, Not Human Activity, Rules the Climate: Summary for Policymakers of the Nongovernmental International Panel on Climate Change*, Chicago, IL: The Heartland Institute, 2008, 70 p.

PETIT (Michel)
Qu'est-ce que l'effet de serre ? Ses conséquences sur l'avenir du climat, Paris, Vuibert, (collection Planète Vivante), 2003, 124 p.

RESEAU ACTION CLIMAT
Agriculture et gaz à effet de serre : état des lieux et perspectives, 2010, 72 p.

Sites internet :

Sites consultés pour obtenir des graphiques :

http://notech.franceserv.com/atmosphere-generalites.html Consulté le 22 mars 2013

http://climatic.inforef.be/conf_lorrain.htm Consulté le 28 août 2013

http://www.pensee-unique.fr/soleil.html Consulté le 11 août 2013

http://www.pensee-unique.fr/theses.html Consulté le 18 août 2013

Sites consultés pour obtenir des données chiffrées :

http://wardsauto.com/ar/world_vehicle_population_110815 Consulté le 1er avril 2013

http://fr.wikipedia.org/wiki/Octane Consulté le 1er avril 2013

http://fr.wikipedia.org/wiki/Mars_(plan%C3%A8te) Consulté le 12 juin 2013

http://fr.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9nus_(plan%C3%A8te) Consulté le 2 mai 2013

Autres :

http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml#1 Consulté le 28 août 2013

http://www.total.com/fr/nos-enjeux/respecter-l-environnement/contribuer-a-la-lutte-contre-le-changement-climatique/energie-climat-200671.html Consulté le 16 mars 2013

http://www.climat-sceptique.over-blog.com Consulté le 7 août 2013

http://www.pensee-unique.fr/remedes.html Consulté le 8 août 2013